

Kaukolämmityksen kannattavuustutkimus energiatehokkaalla pientaloalueella

Tommi Jokinen

Opinnäytetyö

Helmikuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikka

Tekijä(t) Jokinen, Tommi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Helmikuu 2017
	Sivumäärä 88	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Kaukolämmityksen kannattavuustutkimus energiatehokkaalla pientaloalueella		
Tutkinto-ohjelma Energia- ja ympäristötekniikka		
Työn ohjaaja(t) Nuutinen Marjukka, Lähdesmäki Pekka		
Toimeksiantaja(t) Benet Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Rakennusten energiantarve on vähentynyt merkittävästi mikä heikentää kaukolämmön jakelun kannattavuutta. Lisäksi rakennuksen lämmitysmuodoksi voi olla taloudellisempaa vaihtoa jokin muu kuin kaukolämpö. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kaukolämmön jakelun kannattavuus asuinalueella, joka koostuu vain energiatehokkaista pientaloista, sekä selvittää kaukolämmön kannattavuus energiatehokkaan rakennuksen lämmitysmuotona.</p> <p>Kaukolämmön jakelun kannattavuus selvitettiin kolmella erilaisella kaukolämpöverkon teknisellä toteutustavalla: yleisesti Suomessa käytössä olevalla kaukolämpöverkon toteutuksella sekä kahdella tekniseltä toteutukseltaan harvinaiselta kustannustehokkuuteen pyrkivällä kaukolämpöverkolla. Kannattavuustarkastelua varten valittiin uusi, vireillä oleva asuinalue, joka sijaitsee Jyväskylän Mannisenmäellä. Mannisenmäen asuinalueelle luotiin kuvitteellinen, energiatehokkaista pientaloista koostuva kaukolämpöverkko, jolle kannattavuuslaskelmat tehtiin.</p> <p>Kaukolämmön kannattavuutta rakennuksen lämmitysmuotona tarkasteltiin kahdessa erilaisessa esimerkkipientalossa. Kannattavuustarkastelu tehtiin kolmella erilaisella kaukolämpölaitteiden toteutustavalla, jotka kilpailutettiin muiden yleisesti käytössä olevien lämmitysmuotojen kanssa.</p> <p>Tulosten perusteella kaukolämmön jakelu on kannattavaa Mannisenmäen kaltaisella energiatehokkaalla asuinalueella, jos kaikki alueen rakennukset ovat liittyneet kaukolämpöverkoon ja kaukolämmön jakelun kannattavuutta voidaan yhä parantaa kustannustehokkuuteen pyrkivillä kaukolämpöverkon toteutustavoilla. Pientalon lämmitysmuotona kaukolämpö ei ole kannattavin vaihtoehto nykyisellä kaukolämmön hinnoittelulla, ja pientalon kaukolämpölaitteiden investointikustannusten pienentäminen on haastavaa.</p> <p>Avainsanat (asiasanat) energiatehokkuus, energiatehokkuusvaatimukset, kaukolämpö, kaukolämpöverkko, matalalämpötilaverkko, pientalon kaukolämpölaitteet.</p>		
Muut tiedot		

Author(s) Jokinen, Tommi	Type of publication Bachelor's thesis	Date February 2017
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 88	Permission for web publication: x
Title of publication Viability study on district heating in energy-efficient residential area		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Nuutinen Marjukka, Lähdesmäki Pekka		
Assigned by Benet Ltd		
<p>Abstract</p> <p>Energy consumption in housing has reduced significantly causing decreasing economy for district heating companies. Also, district heating may not be economically the best solution for energy efficient houses. The objective of the thesis was to investigate the viability of distributing district heating in an energy-efficient residential area, and to investigate the viability of district heating as a heating method for an energy-efficient house.</p> <p>The viability of district heating distribution was calculated for three different types of district heating subnets. The first type of district heating subnet is commonly used in Finland. The other two types of district heating subnets strive to be more cost-effective but they are less commonly used. For the profitability calculations a future residential area in Mannisenmäki, Jyväskylä, was chosen. The profitability calculations were made for an imaginary district heating subnet that was created in Mannisenmäki.</p> <p>The profitability of district heating as the heating method of an energy-efficient house was calculated for two different types of houses. Calculations were made for three different types of substations which were put out to tender with other commonly used heating methods.</p> <p>Based on the results of the thesis, district heating distribution is a valid option as a heat source for energy-efficient residential areas such as Mannisenmäki, if every building in the area is connected to the district heating subnet. Furthermore, it is also possible to improve the viability of district heating distribution with cost-effective district heating technology. For energy-efficient building, district heating is not the most profitable heating solution with current pricing, and it is challenging to cut the investment costs of the district heat substation.</p>		
Keywords/tags (subjects) energy-efficiency, district heating, district heating subnet, low temperature district heating, district heating substation.		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto	6
1.1	Opinnäytetyön tausta	6
1.2	Opinnäytetyön tavoitteet.....	6
1.3	Tutkimusmenetelmät.....	7
1.4	Opinnäytetyön tutkimuskohteiden rajausta	8
1.5	Opinnäytetyön toimeksiantaja Benet Oy	8
2	Rakennusten energiatehokkuus	9
2.1	Rakennuksen lämmitysenergian tarve	9
2.2	Rakennusten lämmitysenergian tarpeen vähentyminen	10
2.3	Rakennusten energiatehokkuuden rakennusmääräykset	11
2.4	E-luku.....	12
2.5	Lähes nollaenergiarakennukset.....	13
2.6	Rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen	14
3	Kaukolämpö	18
3.1	Kaukolämpöjärjestelmän toimintaperiaate	18
3.2	Kaukolämmön tarve.....	19
3.3	Rakennusten tilausteho	21
3.4	Kaukolämpöverkon lämpöteho ja lämpötilan säätö	21
3.5	Kaukolämpöverkon painetaso ja paisunta	23
3.6	Kaukolämpöverkon paine-ero	23
3.7	Kaukolämpöverkon lämpöhäviöt	24
3.8	Lämmönvaihdin	24
3.9	Rakennuksen liittäminen kaukolämpöverkkoon	26
3.10	Kaukolämpöasiakkaan laskutus.....	27
3.11	Kaukolämpöjohdot	28
4	Kevennetty kaukolämpöjärjestelmä	29

4.1	Matalalämpötilaverkko	29
4.2	Rakennuksen lämmitysjärjestelmän suora kytkentä matalalämpötilaverkossa	30
4.3	Matalalämpötilaverkon haasteet	32
5	Kaukolämpöverkon mitoitusperiaatteita	32
5.1	115 °C, 1,6 MPa kaukolämpöverkon mitoitusperiaatteet	32
5.2	80 °C, 0,6 MPa, matalalämpötilaverkon mitoitusperiaatteet	34
6	Kaukolämpöverkkojen mitoituksen kohdealue	35
6.1	Mannisenmäelle luodun kaukolämpöverkon rakennukset	36
6.1.1	Esimerkkirakennusten lämpöenergian kulutus ja lämmityksen tehontarve	37
6.1.2	Esimerkkirakennusten mitoitustehot.....	39
6.2	Mannisenmäelle luotu kaukolämpöverkko.....	41
6.2.1	Mannisenmäen kaukolämpöverkon toteutusvaihtoehdot ja putkilinjojen mitoitus	45
6.2.2	Mannisenmäen kaukolämpöverkon painehäviöt	50
6.2.3	Mannisenmäen kaukolämpöjohtojen investointikustannukset	51
6.2.4	Verkon V2 ja V3 lämmönvaihdivaihtojen investointikustannukset	53
6.2.5	Kaukolämpöverkkojen lämpöhäviökustannukset	54
6.2.6	Kaukolämpöverkkojen kokonaiskustannukset	55
7	Kaukolämmön kannattavuus	57
7.1	Kannattavuus lämmöntoimittajan kannalta	57
7.2	Kaukolämpöverkon vaihtettava rakentaminen.....	61
7.3	Kannattavuus asiakkaan kannalta	64
8	Pohdinta.....	68
	Lähteet.....	72
	Liitteet	76
	Liite 1. Rakennukset joita energiatehokkuusvaatimukset eivät koske.....	76

Liite 2. Rakennuksen lämpöhäviöiden vertailuarvot	77
Liite 3. Rakennuksen 179-2015-1328 rakennusmitat	78
Liite 4. Rakennuksen 179-2013-982 rakennusmitat	79
Liite 5. Mannisenmäen kaukolämpöverkon solmupisteet	80
Liite 6. Mannisenmäen kaukolämpöverkon solmupisteiden väliset etäisyydet	81
Liite 7. Mannisenmäen runkojohtojen mitoitusvahot	82
Liite 8. Logstor Calculator	83
Liite 9. Brugg Pema Oy:n lämpöjohtojen ja liitosten kustannuslaskuri	84
Liite 10. Saarijärven kaukolämmön paineenkorotusasema	85
Liite 11. Lämmönsiirrinasevan kustannuslaskemat	86
Liite 12. Lämpöhäviöiden laskentapohja	87
Liite 13. Vaiheisen rakentamisen kannattavuuslaskelmat	88

Kuviot

Kuvio 1. Rakennuksen ostoenergiankulutuksen taseaja	9
Kuvio 2. Kaukolämmitettyjen rakennusten ominaisenergiankulutuksen kehitys	11
Kuvio 3. Kaukolämpöjärjestelmän toimintaperiaate	19
Kuvio 4. Asuinrakennuksen tuntikeskitehot viikonpäivinä	20
Kuvio 5. Kaukolämpöveden säätökäyrä ulkolämpötilan funktiona	22
Kuvio 6. Levylämmönvaihtimen toimintaperiaate	25
Kuvio 7. Rakennuksen kaukolämpöliitoksen kytkentäperiaate	26
Kuvio 8. Poikkileikkaus yleisesti käytettävistä kiinnivaahdotetuista kaukolämpöputkista	28
Kuvio 9. Matalalämpötilaverkon liittäminen kaukolämpöverkkoon	30
Kuvio 10. Rakennuksen lämmitysjärjestelmän suora kytkennän kytkentäperiaate ...	31
Kuvio 11. Mannisenmäen asuinalue	36
Kuvio 12. Mannisenmäelle luodun kaukolämpöverkon runkojohtojen pituudet	42
Kuvio 13. Mannisenmäelle luodun kaukolämpöverkon liittymisjohdot	43

Kuvio 14. Mannisenmäelle luodun kaukolämpöverkon asiakkaat ja verkon liittymiskohta muuhun kaukolämpöverkkoon	44
Kuvio 15. Mannisenmäen kaukolämpöverkon V1 toimintaperiaate.....	46
Kuvio 16. Mannisenmäen kaukolämpöverkon V2 toimintaperiaate.....	47
Kuvio 17. Mannisenmäen kaukolämpöverkon V3 toimintaperiaate.....	48
Kuvio 18. Verkon V1 materiaali ja työkustannukset	52
Kuvio 19. Verkon V2 ja V3 materiaali ja työkustannukset	53
Kuvio 20. Kaukolämpöverkkojen V1, V2 ja V3 lämpöhäviöt	55
Kuvio 21. Kaukolämpöverkkojen kokonaiskustannukset.....	56
Kuvio 22. Kaukolämpöverkkojen takaisinmaksuajat	59
Kuvio 23. Kaukolämpöverkkojen netto nykyarvot 15 a.	60
Kuvio 24. Kaukolämpöverkkojen netto nykyarvot 50 a.	60
Kuvio 25. Kaukolämpöverkkojen takaisinmaksuajat, vaiheinen rakentaminen.....	62
Kuvio 26. Kaukolämpöverkkojen netto nykyarvot vaiheisella rakentamisella 15 a.	63
Kuvio 27. Kaukolämpöverkkojen netto nykyarvot vaiheisella rakentamisella 50 a.	63
Kuvio 28. Kaukolämpöverkon K2V2 netto nykyarvot kevennetyllä perusmaksulla	68
Kuvio 29. Kaukolämpöverkon K2V2 takaisinmaksuaika kevennetyllä perusmaksulla	68

Taulukot

Taulukko 1. Pientalon E-lukuvaatimukset	13
Taulukko 2. Lähes nollaenergiatalon E-luku vaatimukset pientaloille.....	14
Taulukko 3. Mannisenmäen esimerkkirakennukset	37
Taulukko 4. Esimerkkirakennuksille määritetyt lämmitysenergiankulutukset	39
Taulukko 5. Esimerkkirakennusten tehontarpeet	40
Taulukko 6. Esimerkkirakennusten tuntikeskitehot	41
Taulukko 7. Mannisenmäen kaukolämpöverkon vuotuinen kokonaisenergiankulutus kulutustasolla K1 ja K2	44
Taulukko 8. Verkon V1 putkimitoituksen tulokset	49
Taulukko 9. Verkon V2 putkimitoituksen tulokset	50
Taulukko 10. Verkon V3 putkimitoituksen tulokset	50
Taulukko 11. Verkkojen V1, V2 ja V3 painehäviöt	51

Taulukko 12. Esimerkkirakennusten rakennustilavuudet	57
Taulukko 13. Kaukolämpöasiakkaan kustannukset	58
Taulukko 14. Kaukolämpöverkon rakentamisen vaiheistus.....	61
Taulukko 15. Esimerkkirakennusten kaukolämmön kokonaisinvestointikustannukset, €	65
Taulukko 16. Esimerkkirakennusten kaukolämmön kokonaishinta, €/MWh	65
Taulukko 17. Esimerkkirakennusten kaukolämmityksen kustannuserotus maalämpöön verrattuna 15 vuoden aikana, €	66
Taulukko 18. Perusmaksujen prosentuaalinen alennus	67

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta

Kaukolämmitys on taloudellisesti kannattavinta alueella, jossa kaukolämpöä kulutetaan paljon suhteessa kaukolämpöverkon pituuteen. Kaukolämpöverkon investointikustannukset ovat korkeahkot ja investointien takaisinmaksuajat ovat tyypillisesti pitkiä. Takaisinmaksuajalla tarkoitetaan aikaa, jossa investointi on tuottanut siihen sijoitetut resurssit takaisin. Mitä lyhempi takaisinmaksuaika, sitä kannattavampi investointi on. Pientaloalueella tai muulla rakennetulla alueella kaukolämpöverkon investointikustannusten takaisinmaksuaika on korkeimmillaan. Rakennusten energiatehokkuuden parantuminen on johtanut lämmitysenergian tarpeen vähenemiseen, jolloin kaukolämpöyrityksen lämmönmyynnistä saatavat tuotot ovat vähentyneet. Pientalojen energiatehokkuuden parantuminen saattaa aiheuttaa sen, että pientaloalueen lämmönmyynnin tuotot jäävät liian pieniksi, ja tällöin kaukolämmön jakelu ei olisi kyseisellä alueella kannattavaa. (Koskelainen, Saarela & Sipilä 2006, 26-31; Iso-metsä n.d. 35.)

Myös kilpailun kiristyminen eri lämmitysmuotojen välillä vaikeuttaa kaukolämmön asemaa lämmitysmarkkinoilla. Kilpailu on voimakkainta uudella asuinalueella, jossa lämmitysmuotoa ei ole vielä valittu. (Kaukolämmön asema Suomen energiajärjestelmässä tulevaisuudessa 2011, 11.) Asiakkaan kannalta yksi merkittävimmistä tekijöistä lämmitysmuodon valinnassa on lämmitysmuodon kustannukset. Jotta kaukolämpö on kilpailukykyinen verrattuna muihin lämmitysvaihtoehtoihin, tulee asiakkaan kaukolämmityksen kustannusten olla muiden lämmitysvaihtoehtojen kustannuksia alhaisemmat. (Koskelainen ym. 2006, 471.)

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kaukolämmön jakelun kannattavuutta lämmön-toimittajan kannalta energiatehokkaalla pientaloalueella sekä kaukolämmön kannattavuutta ja kilpailukykyä energiatehokkaan pientalon lämmitysmuotona. Lisäksi etsittiin keinoja kaukolämmön jakelun kannattavuuden sekä kilpailukyvyn parantamiseksi.

Kaukolämmön jakelun kannattavuus

Opinnäytetyössä suunniteltiin energiatehokkaalle asuinalueelle kolme erilaista kaukolämpöverkkoa: tavanomainen kaukolämpöverkko sekä kaksi kustannustehokkuuteen pyrkivää kaukolämpöverkkoa. Kaukolämpöverkon investointikustannuksia vertailtiin lämmönmyynnin tuottoihin. Kaukolämmön jakelun kannattavuutta arvioitiin kaukolämpöverkon investointikustannusten takaisinmaksuajalla sekä kaukolämpöverkon tuottojen perusteella.

Kaukolämmön kilpailukyky

Rakennuksen lämmitysenergian kulutus vaikuttaa merkittävästi lämmitysjärjestelmän valintaan. Mikäli rakennuksen lämmitysenergian tarve on suuri, on taloudellisesti järkevää sijoittaa energia- ja käyttökustannuksiltaan edulliseen lämmitysjärjestelmään. Lämmitysenergian tarpeen vähentyessä rakennuksen lämmitysjärjestelmän investointikustannusten painoarvo kasvaa lämmitysjärjestelmän valinnassa. (Pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 4.)

Lämmitysjärjestelmän aiheuttamien kustannusten arvioinnissa tarkastellaan kokonaiskustannuksia pitkällä, noin 15 – 30 vuoden ajanjaksolla. Kokonaiskustannukset muodostuvat lämmitysjärjestelmän rakennusvaiheen investointikustannuksista sekä lämmitysjärjestelmän vuotuisista energia- ja käyttökustannuksista. (Pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 12.) Opinnäytetyössä kaukolämmön kilpailukykyä lämmitysmarkkinoilla arvioitiin vertaamalla asiakkaan kaukolämmittämisestä muodostuvia kokonaiskustannuksia muiden lämmitysjärjestelmien kokonaiskustannuksiin. Kilpailukykyä arvioitiin kolmella erilaisella vaihtoehdolla: yleisimmällä asiakkaan kaukolämpöratkaisulla sekä kahdella muulla toteuttamisvaihtoehdolla.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Tarvittava materiaali tutkimuksen toteuttamiseen kerättiin tekemällä kirjallisuuskatsaus alaan ja aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen, verkkojulkaisuihin ja tutkimuksiin. Lisäksi tietoa kerättiin haastattelemalla, sähköpostitse sekä puhelinhaastatteluna aihepiirin parissa työskenteleviä urakoitsijoita, jälleenmyyjiä ja suunnittelijoita. Kerätyt tiedot sovellettiin ja niiden pohjalta tehtiin tarvittavat laskelmat tutkimuksen tavoitteiden selvittämiseksi.

1.4 Opinnäytetyön tutkimuskohteiden raja

Rakennukset

Tutkimuksessa tarkasteltiin erillisiä pientaloja. Pientalon määrittelemiseen käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelmaa, johon on koottu rakentamista koskevat velvoittavat asetukset. Opinnäytetyössä tutkittiin rakentamismääräyskokoelman luokan 1 rakennuksia jotka ovat käyttötarkoitukseltaan yhden tai kahden asunnon taloja. (A 30.3.2012, 9.)

Tutkittavan kaukolämpöverkon laajuus

Opinnäytetyön tutkimuksen kohteeksi rajattiin pientalon asuinalue, jonka keskimääräinen tonttikoko on 600 m²–1000 m². Asuinalueeksi etsittiin nämä reunaehdot täyttävä alue Jyväskylän seudulta. Valitun asuinalueen jokaiselle tontille sijoitettiin kuvitteellisesti energiatehokas pientalo, jolloin pystyttiin tarkastelemaan koko asuinalueen laskennallista energiankulutusta.

Opinnäytetyössä kaukolämmön jakelun kannattavuuden selvitys rajattiin koskemaan vain opinnäytetyössä tutkitun esimerkkialueen kaukolämpöverkon aiheuttamia kuluja ja tuottoja.

1.5 Opinnäytetyön toimeksiantaja Benet Oy

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Benet Oy, jonka toiminnan osa-alueisiin kuuluvat erilaiset avustustehtävät esimerkiksi energianhankinnassa ja energiansuunnittelu- ja kehitysprojekteissa. Lisäksi Benet Oy:n toimintaan kuuluu tapahtumanjärjestäminen, konsultointi, koulutus, tiedotus sekä alueelliset ja kansainväliset hankkeet. Benetin toimintaan kuuluu myös Keski-Suomen Energiatoimisto. (Benet - tehtävänä uusiutuva energia ja energiatehokkuus 2015.)

Keski-Suomen Energiatoimisto on yksi Euroopan 380 alueellisesta energiatoimistosta. Energiatoimisto kehittää alueellista energiatehokkuutta ja uusiutuvan energian käyttöä. Sen toimintaan sisältyy koulutus, tiedotus, konsultointi sekä alueelliset ja kansainväliset hankkeet. (Keski-Suomen Energiatoimisto 2015.)

2 Rakennusten energiatehokkuus

2.1 Rakennuksen lämmitysenergiantarve

Kuviossa 1 on eritelty, mihin energiaa rakennuksessa kuluu ja mistä energiaa hankitaan. Kuvion 1 *nettotarpeet*- kohdassa ylin nuoli symboloi lämmitysjärjestelmällä rakennuksen sisätiloihin tuotua lämmitysenergian nettotarvetta, joka muodostuu lämmityksen-, ilmanvaihdon- sekä lämpimän käyttöveden kuluttamasta lämpöenergiasta. Rakennuksen tilojen kokonaislämmitysenergian määrä muodostuu rakennuksen lämmitysenergian nettotarpeesta, johon lisätään sähköenergian kulutus, ihmisistä peräisin oleva lämpökuorma ja auringon säteilyenergia ikkunoiden läpi. (A 30.3.2012, 5.)

Rakennuksen lämmitysjärjestelmän energiankulutus muodostuu lämmitysenergian nettotarpeesta sekä lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutuksesta ja järjestelmähäviöistä. Järjestelmähäviöt ovat lämpöenergian varastoinnin, tuoton, jakelun ja luovutuksen häviöiden summa. (Mts. 5.) Rakennuksen lämmitysjärjestelmä sijoittuu kuviossa 1 oikeassa reunassa olevaan laatikkoon *tekniset järjestelmät*.



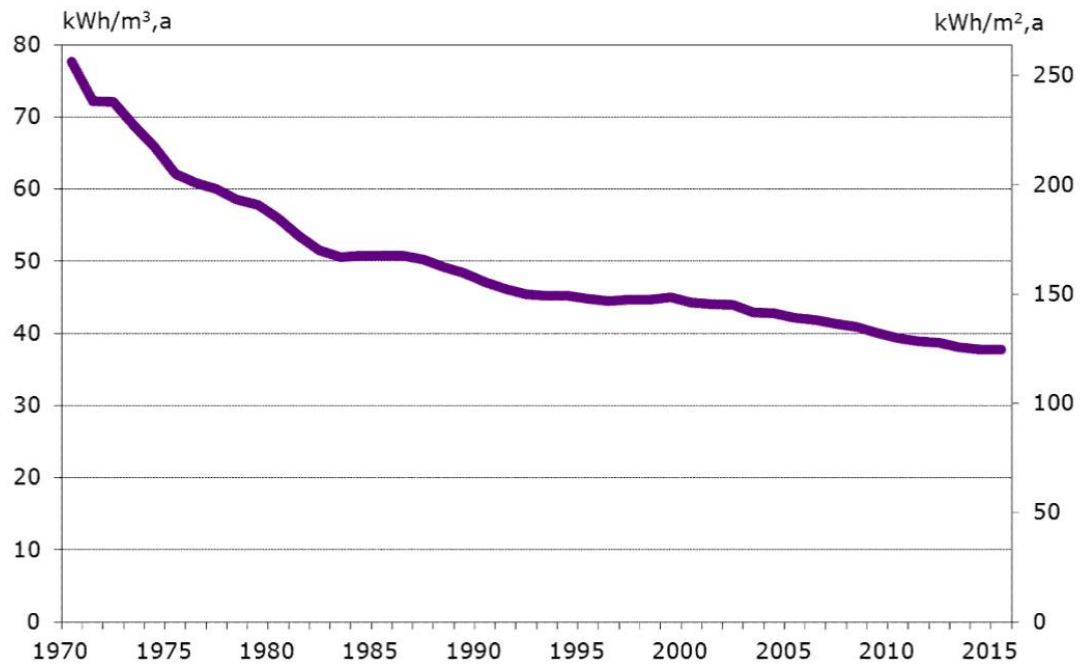
Kuvio 1. Rakennuksen ostoenergiankulutuksen taseraja (A 30.3.2012, 6)

Rakennuksen ostoenergia on energianmuotojen kertoimilla painotetut (ks. luku 2.4) rakennuksen sähkö-, jäähdytys- ja lämmitysenergiankäytön summa, josta on vähennetty rakennuksen sisäiset uusiutuvat energianlähteet. Kuviossa 1 oleva katkoviiva kuvaa rakennuksen ostoenergiankulutuksen taserajaa. Taserajan ulkopuolella oleva ostoenergia joudutaan hankkimaan rakennuksen ulkopuolelta rakennuksen energiantarpeen täyttämiseksi. Ostoenergia voidaan hankkia sähköverkosta, kaukolämpöverkosta, kaukojäähdytysverkosta tai erilaisena uusiutuvana tai fossiilisena polttoaineena. (Mts. 6-7.)

2.2 Rakennusten lämmitysenergian tarpeen vähentyminen

Kuviossa 2 on kaukolämmitettyjen rakennusten keskimääräiset vuosittaiset ominaisenergiakulutukset vuosina 1970–2015. Rakennuksen ominaisenergiankulutus tarkoittaa rakennuksen energiankulutusta suhteessa rakennuksen pinta-alaan tai -tilavuuteen. Mitä suurempi ominaiskulutus on, sitä enemmän rakennus vie energiaa suhteessa rakennuksen kokoon. Vuonna 2015 keskimääräinen ominaiskulutus oli alle 150 kWh/(m², a.) joka on yli 100 kWh/(m², a.) vähemmän kuin vuonna 1970 (ks. kuvio 2). (Kaukolämpötilasto 2015, 1-4.)

Merkittävimmät rakennuksen energiankulutusta vähentävät tekijät ovat rakennuksen ilmatiiviynen parantuminen (ks. luku 2.5.1), lämpöhäviöiden rajoittaminen (ks. luku 2.5.2) ja ilmanvaihdon on lämmöntalteenoton tehostuminen (ks. luku 2.5.3.).



Kuvio 2. Kaukolämmitettyjen rakennusten ominaisenergiankulutuksen kehitys (Kaukolämpötilasto 2015, 7) Oikealla pystyakselilla on kaukolämmitettyjen rakennusten vuotuinen lämpöenergiankulutus suhteessa rakennusten pinta-alaan.

2.3 Rakennusten energiatehokkuuden rakennusmääräykset

Rakennusten energiatehokkuutta koskevat vaatimukset esitetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3: Rakennusten energiatehokkuus 2012, määräykset ja ohjeet. Rakentamismääräyskokoelman osa D3 astui voimaan 1. heinäkuuta 2012. (A 30.3.2012, 1.)

Rakentamismääräyskokoelmassa esitettävät arvot rakennuksen ominaisuuksista on määritetty rakennuksen standardikäytön perusteella. Rakennuksen standardikäytöllä tarkoitetaan rakennuksen vakioitua käyttöä. Rakennuksen standardikäyttö poikkeaa usein rakennuksen todellisesta käytöstä rakennuksen käyttäjän toiminnan vuoksi. (Mts. 6.)

Rakennusmääräyskokoelman energiatehokkuusvaatimukset koskevat uusia rakennuksia jotka käyttävät energiaa tilojen ja ilmanvaihdon lämmittämiseen tai jäähdyttämiseen ylläpitääkseen tarvittavat sisäilmasto-olosuhteet (Mts. 3). Rakennuksen standardikäytön sisäilmasto-olosuhteet on määritetty erillisille pientaloille seuraavasti: (Mts. 18)

- ulkoilmavirta: $0,4 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2)$
- lämmitysraja: $21 \text{ }^\circ\text{C}$
- jäähdytysraja: $27 \text{ }^\circ\text{C}$.

Erillisen pientalon sisälämpötilan pitää standardikäytöllä olla vähintään $21 \text{ }^\circ\text{C}$ ja korkeintaan $27 \text{ }^\circ\text{C}$. Ulkoilmavirran tulee vaihtua $0,4 \text{ dm}^3$ sekunnissa jokaista rakennuksen lämmitettyä neliötä kohti. (Mts. 9.)

Energiatehokkuusvaatimukset eivät koske lämmitetyltä netto-alaltaan alle 50 m^2 :n rakennuksia eivätkä muita poikkeustapauksia (ks. liite 1). Rakennuksen lämmitetty nettoala on rakennuksen kerrosten ulkoseinien sisäpintojen rajaaman alueen summa. (Mts. 9.)

2.4 E-luku

Rakentamismääräyskokoelman vaatimuksena on laskea rakennuksen standardikäytön perusteella ostoenergiankulutus energialähteittäin sekä E-luku. E-luku on eri energialähteiden ostoenergian kulutusten summa, jossa eri energialähteiden ostoenergiat on painotettu energianmuotojen kertoimilla.

Energiamuotojen kertoimet ovat

- sähkö 1,7
- kaukolämpö 0,7
- kaukojäähdytys 0,4
- fossiiliset polttoaineet 1,0
- rakennuksissa käytettävät uusiutuvat polttoaineet 0,5.

(A 30.3.2012, 8.)

E-luku lasketaan yhtälöllä 1:

$$E\text{-luku} = o_s k_s + o_{kl} k_{kl} + o_{kj} k_{kj} + o_{fp} k_{fp} + o_{rkup} k_{rkup} \quad (1)$$

missä o = standardikäytön perusteella laskettu ostoenergian kulutus

k = energiamuodon kerroin

k_s = sähkö

k_{kl} = kaukolämpö

k_{kj} =kaukojäähdytys

k_{fp} = fossiilinen polttoaine

k_{rkup} =rakennuksissa käytettävät uusiutuvat polttoaineet.

Taulukossa 1 ovat viimeisimmät E-lukuvaatimukset pientaloille. E-lukuvaatimus kirjittyy talon pinta-alan kasvaessa. Jos rakennuksen E-luku ylittää taulukossa 1 näkyvät vaatimukset, on rakennuksen ostoenergian tarvetta vähennettävä tai vaihdettava ostoenergian lähde pienemmän energiamuodon kertoimen omaavaksi.

Taulukko 1. Pientalon E-lukuvaatimukset (A 30.3.2012, 9)

Lämmitetty nettoala, A_{netto}	kWh/m ² vuodessa (E-luku)
$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	204
$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$372 - 1,4 * A_{\text{netto}}$
$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$173 - 0,07 * A_{\text{netto}}$
$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	130

2.5 Lähes nollaenergiarakennukset

Lähes nollaenergiarakennukselle ominaista on erittäin korkea energiatehokkuus sekä korkea uusiutuvan energian käyttöaste. Vireillä olevan lakiehdotuksen mukaan nykyiset energiatehokkuusvaatimukset muuttuvat siten, että kaikki rakennukset, joiden rakennuslupahakemukset tulevat voimaan vuonna 2018 ja sen jälkeen, tulee rakentaa lähes nollaenergiarakennukseksi. (Lähes nollaenergiarakentamisen lainsäädännön valmistelu 2016.)

Asetusluonnosten perusteella lähes nollaenergiarakennusten E-lukuvaatimukset sekä energiamuotojen kertoimet muuttuvat. Uudet energiamuotojen kertoimet ovat

- sähkö 1,2
- kaukolämpö 0,5
- kaukojäähdytys 0,28
- fossiiliset polttoaineet 1,0
- rakennuksissa käytettävät uusiutuvat polttoaineet 0,5.

(Lausuntopyyntö luonnoksista ympäristöministeriön asetuksiksi 2016).

Uudet pientalojen E-lukuvaatimukset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Lähes nollaenergiatalon E-luku vaatimukset pientaloille (Lausuntopyyntö luonnoksista ympäristöministeriön asetuksiksi 2016)

Lämmitetty nettoala, A_{netto}	kWh/m ² vuodessa (E-luku)
$A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$200 - 0,6 * A_{\text{netto}}$
$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$116 - 0,04 * A_{\text{netto}}$
$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	92

2.6 Rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen

Rakennuksen energiatehokkuutta voidaan parantaa pienentämällä rakennuksen lämpöhäviöitä, jotka koostuvat rakennusvaipan johtumislämpöhäviöistä, vuotoilman lämpöhäviöistä sekä ilmastovaihtojen lämpöhäviöistä (A 30.3.2012, 12.)

Rakennuksen rakennusvaipaksi kutsutaan rakennusosia, jotka erottavat lämmitetyt sekä jäähdytetyt tilat ulkoilmasta ja maaperästä tai lämmittämättömästä tai puolilämpimästä tilasta. Puolilämmin tila ei ole tarkoitettu jatkuvaan oleskeluun normaali- sisävaatetuksessa, ja lämpötilat ovat täten standardikäytön sisäilmastolämpötiloja alhaisemmat. Rakennuksen lämpimiä tiloja erottavat rakenteet eivät kuulu rakennusvaippaan. (Mts. 5-6.)

Vuotoilman lämpöhäviöiden rajoittaminen

Vuotoilma on rakennusvaipan rakenteissa kontrolloimaton ilmavirta. Rakennusmääräyskokoelmassa vaaditaan, että rakennusvaipan vuotokohdista syntyvät ilmavirrat eivät merkittävästi saa aiheuttaa haittoja rakennuksen rakenteille, käyttäjille tai energiatehokkuudelle (A 30.3.2012, 10.)

Rakennuksen ilmanpitävyyttä kuvataan ilmanvuotoluvulla q_{50} ($\text{m}^3/(\text{h m}^2)$), joka on rakennusvaipan sisäpintojen läpi vuotava keskimääräinen vuotoilmamäärä tunnissa, kun rakennusvaipan sisätilan ja ulkoilman välillä on 50 Pascalin paine-ero. Rakennusvaipan sisäpintoihin lasketaan ylä- ja alapohja sekä seinät ikkunoineen ja aukkoineen (mts. 4). Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla korkeintaan $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, elleivät rakennuksen vaatimat tekniset ratkaisut merkittävästi heikennä ilmapitävyyttä. (Mts. 10.)

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöiden rajoittaminen

Johtumislämpöhäviöt ovat rakennusvaipan rakenteiden läpi johtuvaa lämpöenergiaa. Johtumislämpöhäviöitä kuvataan U-arvolla eli lämmönläpäisykertoimella. U-arvo $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ kuvaa, kuinka suurella lämpöteholla lämpöenergia johtuu neliömetrin koisella alueella rakennusosan läpi, kun rakennusosan eri puolilla olevat ilmatilat ovat yksikön verran eri lämpötilassa. (A 30.3.2012, 5.)

Rakennusmääräyskokoelmassa määrätään rakennusvaipan eri osien lämmönläpäisykertoimien enimmäisarvot (mts. 11):

- Seinän, ylä- ja alapohjan tai puolilämpimään tilaan rajoittuvan rakennusosan lämmönläpäisykertoimen enimmäisarvo on $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.
- Lämpimän tilan ikkunan, oven tai umpinaisen- savunpoisto ja uloskäyntiluukun lämmönläpäisykertoimen enimmäisarvo on $1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.
Puolilämpimän tilan ikkunan, oven tai umpinaisen- savunpoisto ja uloskäyntiluukun lämmönläpäisykertoimen enimmäisarvo on $2,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.
- Lämpimän tilan kattovalokuvun ja kupumallisen savunpoistoluukun lämmönläpäisykertoimen enimmäisarvo on $2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.
- Puolilämpimän tilan kattovalokuvun ja kupumallisen savunpoistoluukun lämmönläpäisykertoimen enimmäisarvo on $2,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Ilmanvaihdon lämpöhäviöiden rajoittaminen

Rakennusmääräyskokoelmassa vaaditaan, että ilmanvaihdon energiatehostaminen ei saa häiritä rakennuksen standardikäytön sisäilmasto-olosuhteita mutta ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava talteen lämpömäärä joka vastaa vähintään 45 % tuloilman lämmittämiseen tarvittavasta lämpömäärästä. Saman lämpömäärän säästäminen voidaan toteuttaa myös rakennuksen johtumislämpöhäviöiden pienentämisellä, vuotoilmahäviöiden pienentämisellä tai vähentämällä ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemää lämpömäärää muuten kuin poistoilman lämmöntalteenotolla. (A 30.3.2012, 15.)

Rakennuksen kokonaislämpöhäviöiden rajoittaminen

Ilmanvaihdon-, johtumislämpöhäviöiden ja vuotoilman lämpöhäviöiden kokonaismäärää rajoitetaan vertailulämpöhäviölaskennalla. Vertailulämpöhäviöiden laskennassa käytetään lämpöhäviöiden vertailuarvoja sekä laskennan kohteena olevan rakennuksen todellisia mittoja. Rakennusmääräyskokoelmassa vaaditaan, että uuden rakennuksen lämpöhäviöt eivät saa ylittää vertailulämpöhäviöiden kokonaismäärää. (A 30.3.2012, 12.)

Rakennusvaipan lämpöhäviöt lasketaan kaavalla 2, jossa vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään liitteen 2. arvoja (mts. 15):

$$\begin{aligned} \sum H_{joht} = & \sum (U_{ulkoseinä} A_{ulkoseinä}) + \sum (U_{yläpohja} A_{yläpohja}) + \\ & \sum (U_{alapohja} A_{alapohja}) + \sum (U_{ikkuna} A_{ikkuna}) + \sum (U_{ovi} A_{ovi}) \end{aligned} \quad (2)$$

missä $\sum H_{joht}$ = rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö W/K

U = rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m²K)

A = rakennusosan pinta-ala m².

Vuotoilman lämpöhäviöt lasketaan kaavalla 3 (mts. 14):

$$H_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} \quad (3)$$

missä $H_{vuotoilma}$ = vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

ρ_i = ilman tiheys 1,2 kg/m³

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)

$q_v, vuotoilma$ = vuotoilmavirta, m³/s.

Kaavaan 3 tarvittava $q_v, vuotoilma$ lasketaan kaavalla 4, jossa rakennuksen ilmanvuotoluvun q_{50} vertailuarvona käytetään lukua 2 m³/(h m²) (mts. 14-23):

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{vaippa} \quad (4)$$

missä q_{50} = rakennusvaipan ilmanvuotoluku m³/(h m²)

A_{vaippa} = rakennusvaipan pinta-ala m²

x = kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 25, kolmi-, ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille tai korkeimmille rakennuksille 15

3600= kerroin, joka muuttaa ilmavirran yksikön m³/h yksikköön m³/s.

Ilmanvaihdon lämpöhäviöt lasketaan kaavalla 5, jossa vertailulämpöhäviöiden laskennassa ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena käytetään arvoa η_a = 45 (mts. 14-15):

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} t_d t_v (1 - \eta_a) \quad (5)$$

missä H_{iv} = ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K

ρ_i = ilman tiheys 1,2 kg/m³

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)

$q_{v,poisto}$ = standardikäytön mukainen laskennallinen poistoilmavirta, m³/s

t_d = ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h

t_v = ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde vrk/7 vrk

η_a = ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, joka on lämmöntalteenottolaitteistolla vuodessa talteen otettavan ja hyödynnettävän energian suhde ilmanvaihdon tarvitsemaan energiaan, kun lämmöntalteenottoa ei ole.

$q_{v,poisto} = 0,4 \text{ dm}^3/\text{s}$ (erillisen pientalon standardikäyttö)

$t_d = 24 \text{ h}/24 \text{ h} = 1$ (erillisen pientalon standardikäyttö)

$t_v = 7 \text{ vrk}/7 \text{ vrk} = 1$ (erillisen pientalon standardikäyttö).

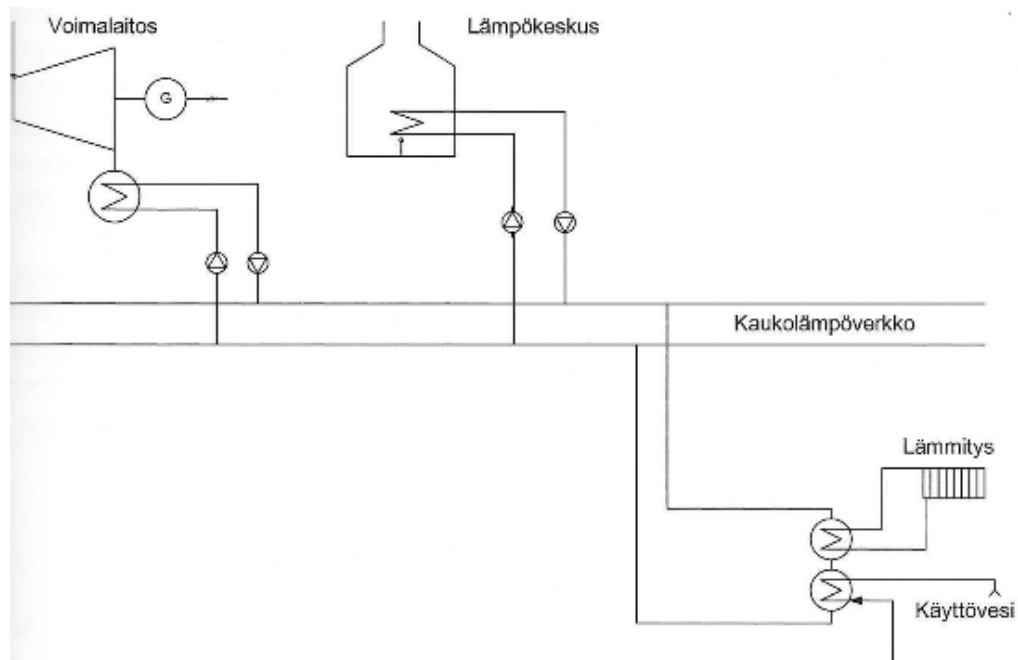
Rakennuksen lämpöhäviö on vaipan-, ilmanvaihdon- ja vuotoilman lämpöhäviöiden summa, joka lasketaan kaavalla 6 (mts. 6):

$$\text{Rakennuksen lämpöhäviö} = H_{iv} + H_{vuotoilma} + \sum H_{joht} \quad (6)$$

3 Kaukolämpö

3.1 Kaukolämpöjärjestelmän toimintaperiaate

Kaukolämpöverkossa lämpöenergia tuotetaan keskitetyssä lämmöntuotantolaitoksessa (ks. kuvio 3: voimalaitos ja lämpökeskus). Lämpöenergia siirretään asiakkaille kaukolämpöverkon välityksellä (ks. kuvio 3: kaukolämpöverkko). Suomessa käytetään yleisesti kaksiputkijärjestelmää, jossa lämmönsiirtoaineena käytetään vettä (Koskelainen ym. 2006, 137.): Vesi lämmitetään lämmöntuotantokohteessa ja siirretään pumpuilla kaukolämpöverkon menolinjaa pitkin asiakkaalle, missä lämpö siirtyy asiakkaan lämmönjakelujärjestelmään lämmönvaihtimen välityksellä. Menolinja on putkilinja, jossa lämmöntuotantolaitoksella lämmitetty vesi virtaa asiakkaalle. Asiakkaan lämmönjakelujärjestelmässä on erillinen sisäinen nestekierto-putki, jolla lämpö jaetaan asiakkaan hyödynnettäväksi, eikä kaukolämpöverkossa kiertävä vesi sekoitu rakennuksessa kiertävän nesteen kanssa. Kun vesi on viilentynyt asiakkaan lämmönvaihtimessa, se palaa kaukolämpöverkon paluulinjaa pitkin lämmöntuotantokohteeseen uudelleen lämmitettäväksi. Paluulinja on putkilinja, jossa viilentynyt vesi virtaa asiakkaalta lämmöntuotantolaitokselle. (Mts. 43-44.)

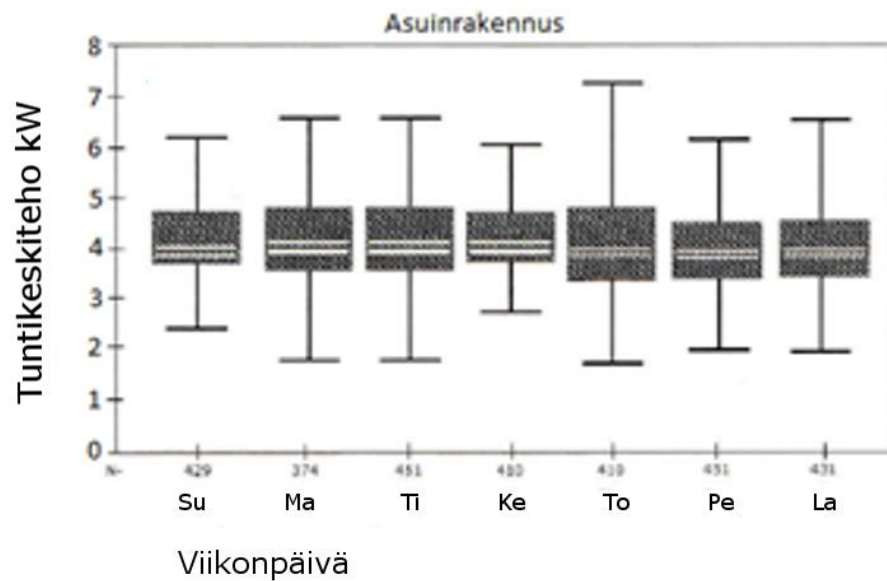


Kuvio 3. Kaukolämpöjärjestelmän toimintaperiaate (Koskelainen ym. 2006, 25.)

3.2 Kaukolämmön tarve

Kaukolämpöverkon välittämä lämmöntarve muodostuu suurimmaksi osaksi rakennusten lämmityksestä ja lämpimän käyttöveden lämmittämisestä. Rakennusten lämmöntarve on suurimmillaan ulkolämpötilan ollessa alhainen. Kesällä rakennusten lämmöntarve on vähäinen, sillä kaukolämpöä käytetään suurimmaksi osaksi vain lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Kesällä lämmöntarve on vain 10 % kaukolämmitteisten rakennusten liittymistehosta. Talven keskilämpötilassa $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ rakennusten lämpötehon tarve on noin puolet rakennusten liittymistehosta. (Koskelainen ym. 2006, 41.)

Rakennusten lämmöntarpeen vaihtelu on erityyppinen erilaisissa rakennustyypeissä. Asuinrakennuksen lämmöntarpeen vaihtelussa on vuorokaudessa kaksi huippukohdtaa, jotka ajoittuvat vuorokaudessa aamuun ja iltaan. Ne johtuvat suurilta osin lämpimän käyttöveden kulutuksesta, muutoin lämmöntarve asuinrakennuksessa on tasaista. Lämmöntarpeen vaihtelua asuinrakennuksessa havainnollistaa kuvio 4. Kuvion 4 harmaa alue kuvaa lämmitystehoa, johon osuu 60 % asuinrakennuksen tehontarpeesta. Kapeamman janan alueelle osuus 95 % asuinrakennuksen lämmitystehosta. (Mts. 59.)



Kuvio 4. Asuinrakennuksen tuntikeskitehot viikonpäivinä (alkup. kuvio ks. Koskelainen ym. 2006, 59.)

Huipunkäyttöaika tarkoittaa kulutetun energian ja suurimman tehontarpeen suhdetta. Huipunkäyttöaika tarkoittaa, kuinka kauan energiamäärän kuluttaminen kestäisi täydellä teholla. Lyhyt huipunkäyttöaika vastaa voimakkaasti vaihtelevaa kulutusta ja pitkä huipunkäyttöaika tarkoittaa tasaista kulutusta. Huipunkäyttöaika lasketaan kaavalla 7 (mts. 61):

$$t_h = \frac{Q}{\phi_{max}} \quad (7)$$

missä Q = energiamäärä kWh

ϕ_{max} = huipputeho kW

t_h = huipun käyttöaika h.

3.3 Rakennusten tilausteho

Rakennuksen tilaustehon eli liittymistehon suuruus määräytyy rakennuksen lämmityksen tuntikeskitehon mukaan. Rakennuksen tehontarve vaihtelee voimakkaasti, eivätkä suuret lyhytaikaiset tehohuiput eivätkä vaikuta lämmönhankinnan kustannusten suuruuteen. Tästä syystä rakennuksen suurinta hetkellistä tehoa ei voida pitää rakennuksen liittymistehona, vaan se lasketaan rakennuksen lämmityksen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden tuntikeskitehon mukaan. (Koskelainen ym. 2006, 65.)

Lämpimän käyttöveden tuntikeskiteho voidaan laskea kaavalla 8 ja 9 (mts. 65):

$$\phi_{lkv} = 0,35 * q_{lkv} * \rho * c_p * \Delta T - 14,1, \text{ jos } \leq 0,5 \text{ dm}^3/\text{s} \quad (8)$$

$$\phi_{lkv} = 0,2 * q_{lkv} * \rho * c_p * \Delta T \text{ jos } \leq 0,5 \text{ dm}^3/\text{s} \quad (9)$$

missä q_{lkv} = lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama

ρ = veden ominaistiheys veden lämpötilassa 55 °C

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti 4,18 kJ/kg °C

ΔT = lämpimän ja kylmän käyttöveden lämpötilojen erotus mitoituslämpötilassa 45 °C

Rakennusten asuntomäärän perusteella laskettu lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama lasketaan kaavalla 10 (mts. 65):

$$q_v = \frac{0,2 + 0,015 * (0,5 * N - 0,2) + 0,17 * \sqrt{0,5 * N - 0,2}}{1000} \quad (10)$$

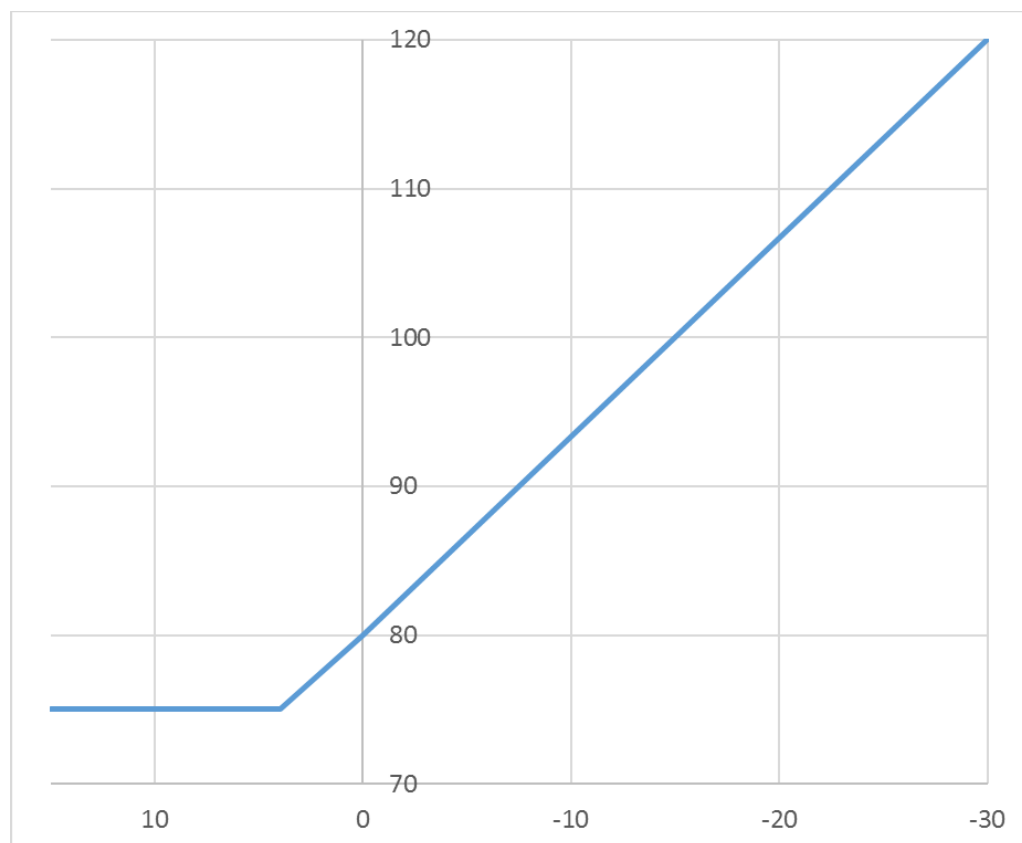
missä N = asuntojen lukumäärä.

3.4 Kaukolämpöverkon lämpöteho ja lämpötilan säätö

Kaukolämpöverkon välittämä lämpöteho määräytyy kaukolämpöveden meno- ja paluulinjan lämpötilaeron eli jäähtymän ja kaukolämpöveden massavirran mukaan. Veden massavirta tarkoittaa, kuinka monta kilogrammaa vettä putkistolinjastossa sekunnissa virtaa. Mitä suurempi on kaukolämpöveden massavirta ja jäähtymä, sen enemmän lämpötehoa välittyy. Kaukolämpöverkon lämpötehoa säädetään muuttamalla massavirran tai jäähtymän suuruutta. (Koskelainen ym. 2006, 198.)

Korkean menolämpötilan käyttö suurentaa jäähtymää ja pienentää veden massavirran tarvetta. Massavirran pienentäminen vähentää kaukolämpöveden pumppaus-työtä ja kaukolämpöverkko on mahdollista toteuttaa pienemmillä putkilinjojen kokoluokilla, sillä putkilinjat mitoitetetaan massavirran perusteella. (Mts. 137.)

Kaukolämpöveden lämpötilaa säädetään ulkolämpötilan mukaan (ks. kuvio 5) Veden säädetään aina mahdollisimman matalaksi lämpöhäviöiden minimoimiseksi, kuitenkin siten, ettei asiakkaiden lämmöntoimituksen laatu häiriinny. (Mts. 336.) Vaikka kaukolämpöverkko pystyy toimimaan 120 °C lämpötilassa, on usein korkein veden lämpötila 115 °C (Flyktman 2016).



Kuvio 5. Kaukolämpöveden säätökäyrä ulkolämpötilan funktiona (Koskelainen ym. 2006, 336.)

3.5 Kaukolämpöverkon painetaso ja paisunta

Korkean käyttölämpötilan takia kaukolämpöverkossa täytyy pitää riittävää ylipainetta veden höyrystymisen ja alipaineen estämiseksi. Alipaine kaukolämpöverkossa voi johtaa siihen, että putkiston epätiiveyden vuoksi verkkoon pääsee ilmaa ja kaukolämpövedessä olevat kaasut voivat erottua. Muodostuva kaasutyyny häiritsee veden kiertoa. (Koskelainen ym. 2006, 338.)

Veden höyrystymispaine 120 °C lämpötilassa on 0,103 MPa. Kaukolämpöpumppujen imupuolelle muodostuva alipaine voi höyrystää veden kupliksi, jotka ovat haitallisia kaukolämpöpumppujen juoksupyörille. 120 °C lämpötilassa kaukolämpöpumpun imupaineen on oltava vähintään 0,05 – 0,08 MPa ja menopaineen vähintään 0,3 MPa. (Mts. 338.)

Kaukolämpöveden lämpötilamuutosten takia kaukolämpöveden ja kaukolämpöputkiston tilavuus muuttuu. Paisuntasäiliötä tarvitaan rakennusten suljetussa lämmitysjärjestelmässä, joissa paisunnan aiheuttama muutos veden tilavuudessa on noin 2,5 – 3,5 %. (Mäkelä & Tuunanen, 83.) Paisunta täytyy kompensoida myös kaukolämpöverkossa, joissa pienissä verkoissa paisunta kompensoidaan suljetulla kalvopaisuntasäiliöllä (Koskelainen ym. 2006, 339).

3.6 Kaukolämpöverkon paine-ero

Kaukolämpöverkon meno- ja paluulinjojen välinen paine-ero synnyttää kaukolämpöverkossa virtauksen. Paine-ero luodaan kaukolämpöpumpulla joka luo matalapaineen pumpun imupuolelle ja korkeapaineen pumpun painepuolelle. Suljetussa putkistossa ylä- ja alamäet eivät vaikuta veden kiertoon, sillä vesi kulkee paineen vaikutuksesta aina pienemmän paineen suuntaan. Pumppaustyötä tarvitaan veden virtausnopeuden kasvattamiseen ja kaukolämpöverkon painehäviöiden voittamiseen. Painehäviöt syntyvät veden virtauksen kitkavoimasta. Kaukolämpöverkon jokaisella asiakkailla pitää olla yleisesti vähintään 0,06 MPa paine-ero. (Koskelainen ym. 2006, 340).

3.7 Kaukolämpöverkon lämpöhäviöt

Kaukolämpöverkon lämpöhäviöt ovat kaukolämpöjohdoista maaperään ja maaperästä ympäristöön johtuvaa lämpöä. Maaperään johtunutta lämpöä ei pystytä hyödyntämään. Lämpöhäviöt aiheuttavat lisäkustannuksia kaukolämmön jakeluun. (Koskelainen ym. 2006, 209).

Lämmön johtumisen suuruus on suoraan verrannollinen lämpötilaeroon: mitä suurempi kaukolämpöverkon ja maaperän välinen lämpötilaero on, sen enemmän lämpöä kaukolämpöverkosta maaperään johtuu ja maaperästä ympäristöön. Lämmön johtumisesta siirtyvän lämpöenergian määrä on riippuvainen lämmön johtumisen suuruudesta, sekä pinta-alasta josta lämpöä johtuu. (Mts. 203).

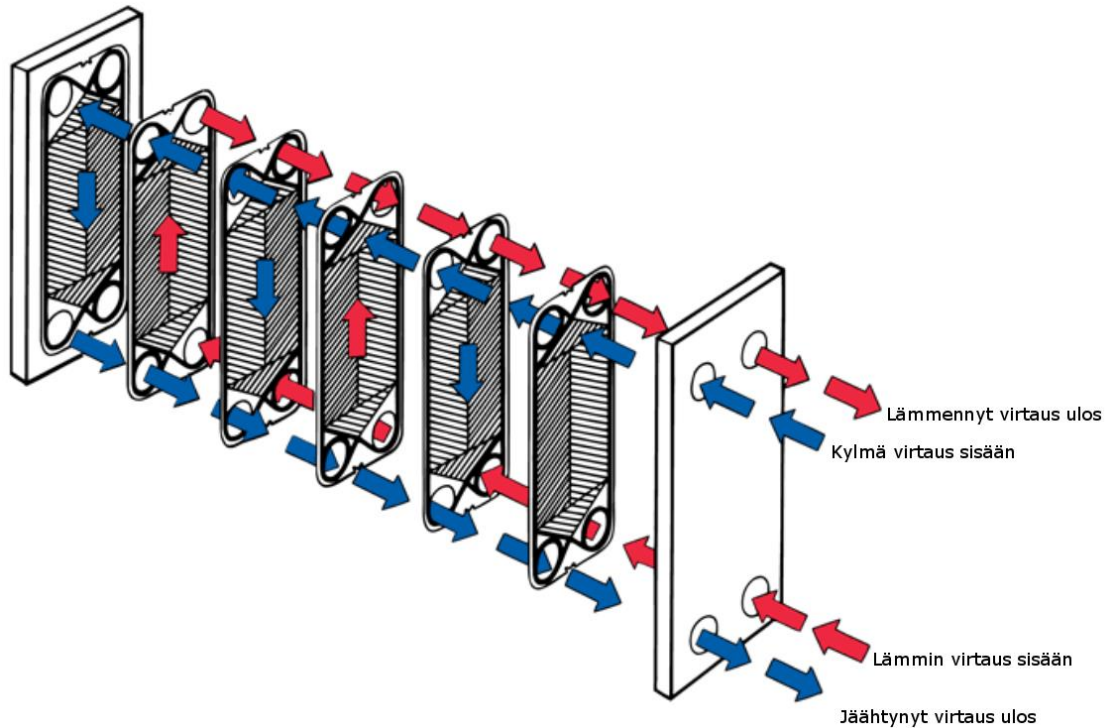
Lämpöhäviöiden osuus verrattuna toimitettuun energiamäärään on sitä suurempi, mitä vähemmän energiaa kaukolämpöverkossa siirretään. Lämpöhäviöiden osuus on pienessä kaukolämpöverkossa suurempi kuin isossa verkossa, sillä pienessä kaukolämpöverkossa kaukolämpöjohtojen vaippapinta-ala on suurempi verrattuna siirretyn lämpöenergian määrään. (Mts. 203).

Kaukolämpöjohtojen lämpöhäviöt pyritään minimoimaan rajoittamalla lämmönjohtavuutta käyttämällä lämpöeristystä. Lisäksi kaukolämpöjohdot mitoitetaan mahdollisimman pieniksi ja asennetaan riittävälle syvyydelle maaperään, koska myös maaperä toimii lämpöeristeenä kaukolämpöjohdon ja ympäristön välillä. Johtojen ja maaperän välinen lämpötilaero pyritään pitämään aina mahdollisimman pienenä säätämällä kaukolämpöverkon menoveden lämpötila kaukolämpöverkon välittämän tehotarpeen mukaan. (Mts. 209).

3.8 Lämmönvaihdin

Kaukolämpöverkossa lämmönvaihtimia käytetään kohteissa, joissa lämpötilaltaan ja painetasoltaan toisistaan poikkeavat virtaukset halutaan erottaa toisistaan. Suomessa rakennukset erotetaan kaukolämpöverkosta lähes poikkeuksetta lämmönvaihtimilla (Koskelainen ym. 2006 43). Lämmönvaihtimia käytetään kaukolämpöverkossa myös lämmönvaihdinasemissa, jos jonkin kaukolämpöverkon osan paine ylittää asialaitteiden tai kaukolämpöverkon suurimman paineenkeston. (Mts. 175).

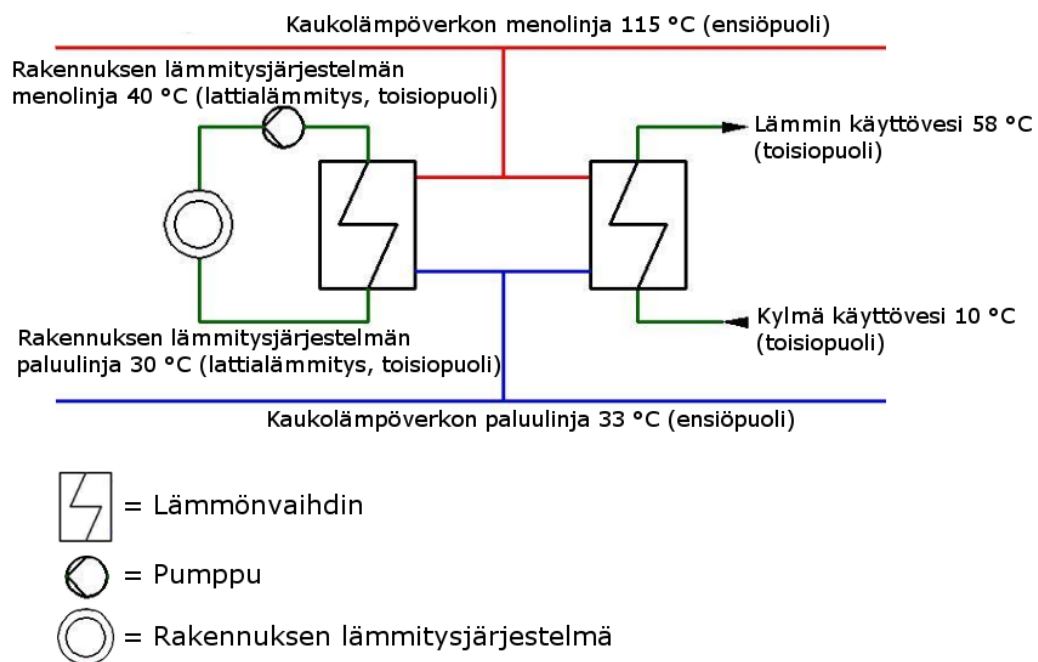
Lämmönvaihtimina käytetään usein levylämmönvaihdinta (mts. 175). Levylämmönvaihtimen toimintaperiaatteena (ks. kuvio 6) on, että kaksi eri lämpö- ja mahdollisesti myös painetason virtausta ovat keskenään välityksellä lämpöpinnan välityksellä. Virtausten suunta on levylämmönvaihtimissa päinvastainen. Lämmönvaihtimissa lämpimämpää virtausta kutsutaan ensiöpuoleksi ja viileämpää virtausta toisiopuoleksi. Lämpimämmän ensiöpuolen lämpöenergia johtuu viileämpään toisiopuolen virtaukseen lämpöpinnan läpi, ilman että virtaukset sekoittuvat keskenään. Lämmönvaihtimet mitoitetaan siten, että ne kykenevät siirtämään suurimman tarvittavan hetkellisen lämpötehon ensiöpuolelta toisiopuolelle huipputehon tarpeen aikana esiintyvillä ensiö- ja toisiopuolen lämpötiloilla. (Mts. 71-72).



Kuvio 6. Levylämmönvaihtimen toimintaperiaate (alkup. kuvio ks. Plate Heat Exchangers 2009)

3.9 Rakennuksen liittäminen kaukolämpöverkkoon

Rakennus liitetään kaukolämpöverkkoon lämmönjakokeskuksella, joka on tehdasvalmisteinen kokonaisuus. Pientalon lämmönjakokeskuksen pääkomponentit ovat säätökeskus, lämmönvaihtimet, kiertovesipumput, säätöventtiilit sekä rakennuksen lämmityskiertoon liittyvät paisuntasäiliö, varoventtiili, täyttöventtiili ja tilojen lämmityksen kesäsulkuventtiili. Asiakaslaitteiden suunnittelupaine ja lämpötilat, eli korkeimmat sallitut arvot ovat 120 °C ja 1.6 MPa. Rakennuksen kaukolämpöliitoksen kytkentäperiaate esitetään kuviossa 7. (Koskelainen ym. 2006, 80-84.)



Kuvio 7. Rakennuksen kaukolämpöliitoksen kytkentäperiaate (alkup. kuvio ks. Kaukolämmitysjärjestelmien keventämismahdollisuudet matalan energian kulutuksen alueilla, 2014, 20)

Lämmönvaihtimien välittämää lämpötehoa säädetään säätöventtiileillä, jotka tarpeen mukaan rajoittavat lämmönvaihtimien läpi virtaavaa ensiöpuolen eli kaukolämpöveden massavirtaa. Säätöventtiileitä ohjaa säätökeskus, joka mittaa toisiopuolen

eli rakennuksen lämmitysjärjestelmän ja käyttöveden lämpötiloja. Mikäli toisiopuolen lämpötilat ovat liian alhaiset, säätökeskus kasvattaa lämmönvaihtimen läpi virtaavaa ensiöpuolen massavirtaa. Päinvastoin liian korkealla lämpötilalla säätökeskus rajoittaa lämmönvaihtimen läpi virtaavaa ensiöpuolen massavirtaa. (Koskelainen ym. 2006, 84.)

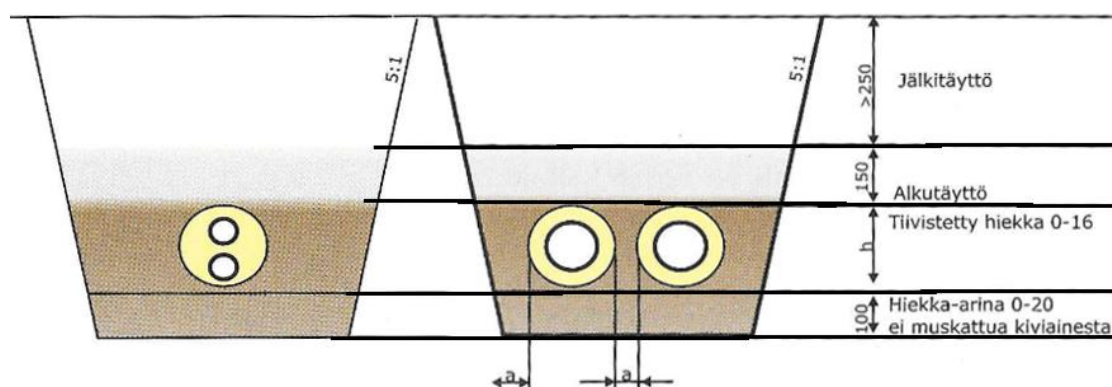
Rakennuksen lämmitysjärjestelmän eli toisiopuolen lämpötilaan ja sitä kautta ensiöpuolen paluulämpötilaan vaikuttaa rakennuksen lämmitysjärjestelmä. Sitä alhaisempi ensiöpuolen paluulämpötila on mahdollista saavuttaa, mitä alhaisempi rakennuksen sisäisen lämmönjakelutavan toimintalämpötila on sillä ensiöpuolen mitoituspaluulämpötila saa olla korkeintaan 3 °C toisiopuolen paluulämpötilaa korkeampi. Alhaisin ensiöpuolen paluulämpötila saavutetaan, jos rakennuksen lämmönjakelutapa on lattialämmitys. Lattialämmityksen toisiopuolen paluulämpötila saa olla korkeintaan 30 °C, jolloin ensiöpuolen mitoituspaluulämpötila saa olla korkeintaan 33 °C. Alhaisimman ensiöpuolen menolämpötilan 70 °C asettaa käyttöveden lämmitys, jonka lämpötila pitää toisiopuolella mitoitusilanteessa nostaa 10 °C lämpötilasta vähintään 58 °C lämpötilaan. (Rakennusten kaukolämmitys, 2014, 57.)

3.10 Kaukolämpöasiakkaan laskutus

Kaukolämpöyrityksen lämpöliiketoiminnan tuotot muodostuvat lämmönmyynnistä sekä lämmön myyntiin liittyvistä palveluista ja palvelumaksuista (Koskelainen ym. 2006, 470). Yksityisasiakkaan kaukolämpömaksut koostuvat liittymismaksusta, energiamaksusta ja tehomaksusta (= vesivirtamaksusta). Liittymismaksu peritään kerran, kun asiakas liittyy kaukolämpöverkkoon. Asiakkaan vuotuiset kaukolämpökulut sisältävät energia- ja tehomaksun. Energiamaksu määräytyy rakennuksen energiakulutuksen perusteella. Tehomaksun suuruus määräytyy rakennuksen lämmitystarpeen tuntikeskitehon perusteella. (Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina, 2014, 2-3.)

3.11 Kaukolämpöjohdot

Yleisin johtotyyppi Suomessa on maanalainen kiinnivaahdotettu kaukolämpöjohto. Kiinnivaahdotetussa johdossa on erillinen teräksinen virtausputki sekä muovinen suojaputki on kiinnitetty putkien välissä olevalla uretaanieristyksellä (Kaukolämpöverkko n.d.) Kiinnivaahdotetuissa kaukolämpöjohdoissa voivat olla erilliset meno- ja paluuputket tai meno- ja paluuputki voivat olla saman muovisen suojaputken sisällä (ks. kuvio 7). Putkityyppiä, jossa meno- ja paluujohdot ovat erillisinä kutsutaan nimellä Mpuk2, ja putkityyppiä jossa meno- ja paluuputki ovat saman suojakuoren sisällä kutsutaan nimellä Mpuk. Kaikki kaukolämpöjohdot ovat mitoitettu toimimaan 1,6 MPa paineessa sekä korkeintaan 120 °C lämpötilassa lukuun ottamatta muovisia virtausputkia. (Koskelainen ym. 2006, 137-139.) Kiinnivaahdotetut yksijohtoputket 2Mpuk sekä kaksiputkijohdot Mpuk asennetaan maaperään ja johdoille tehdään johtoalusta käyttämällä tarpeenmukaisia materiaaleja sekä kerrospaksuuksia kuvion 8 mukaisesti (Koskelainen ym. 2006, 190).



Kuvio 8. Poikkileikkaus yleisesti käytettävistä kiinnivaahdotetuista kaukolämpöputkista: oikealla meno- ja paluuputki saman suojakuoren sisällä ja vasemmalla erillisinä johtoina (alkup. kuvio ks. Koskelainen, ym. 2006, 139)

4 Kevennetty kaukolämpöjärjestelmä

Kevennetty kaukolämpöjärjestelmä on kustannustehokkuuden parantamiseen pyrkivä kaukolämpöjärjestelmä, jolla yleisesti tarkoitetaan perinteistä kaukolämpöverkkoa matalammalle energiankulutustasolle suunniteltua verkkoa. (Hagström, Vanhanen & Vehviläinen, 2009, 5.)

4.1 Matalalämpötilaverkko

Matalalämpötilaverkko toimii tavanomaisen kaukolämpöverkon lämpötilaa ja painetta alemmalla tasolla. Tavanomaisen kaukolämpöverkon lämpötilat Suomessa ovat väliltä 75 °C – 120 °C ja matalalämpötilaverkon lämpötilat voivat olla väliltä 50 °C – 80 °C. Matalalämpötilaverkon vahvuudet verrattuna tavalliseen kaukolämpöverkkoon ovat pienemmät lämpöhäviöt ja mahdollisuus käyttää joustavia muoviputkia kaukolämpöjohtoina sekä matalalämpötilaisten energialähteiden hyödyntäminen kaukolämmön tuotannossa. (Koskelainen, ym. 2006 143, 336, Guidelines for Low-Temperature District Heating, 2014, 9-10.)

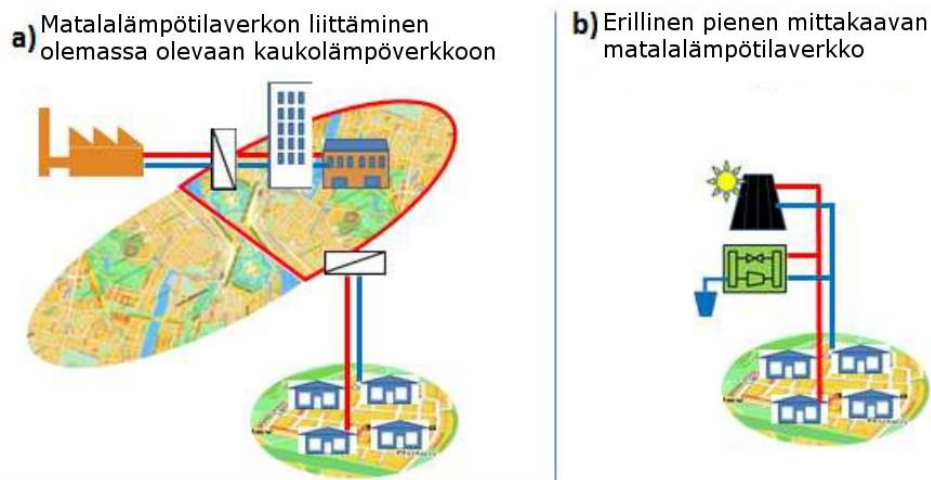
Matalalämpötilaverkon käytön mahdollistaa osittain uusien rakennusten vähäinen energiantarve, jolloin kaukolämpöverkon tarvittava tehonsiirtokapasiteetti voidaan toteuttaa pienemmillä kaukolämpöveden menolämpötiloilla (Guidelines for Low-Temperature District Heating, 2014, 10).

Matalalämpötilaverkon toteuttaminen

Matalalämpötilaverkon mahdolliset toteuttamisvaihtoehdot ovat:

- Matalalämpötilaverkko liitetään korkealämpöiseen kaukolämpöverkkoon lämmönsiirrinasemalla (ks. kuvio 9, kohta a).
- Erillinen pienehkö matalalämpötilaverkko jonka lämpöenergia tuotetaan omassa lämmöntuotantolaitoksessa (ks. kuvio 9, kohta b).

(Guidelines for Low-Temperature District Heating, 2014, 11.)



Kuvio 9. Matalalämpötilaverkon liittäminen kaukolämpöverkkoon (alkup. kuvio ks. Guidelines for Low-Temperature District Heating, 2014, 11.)

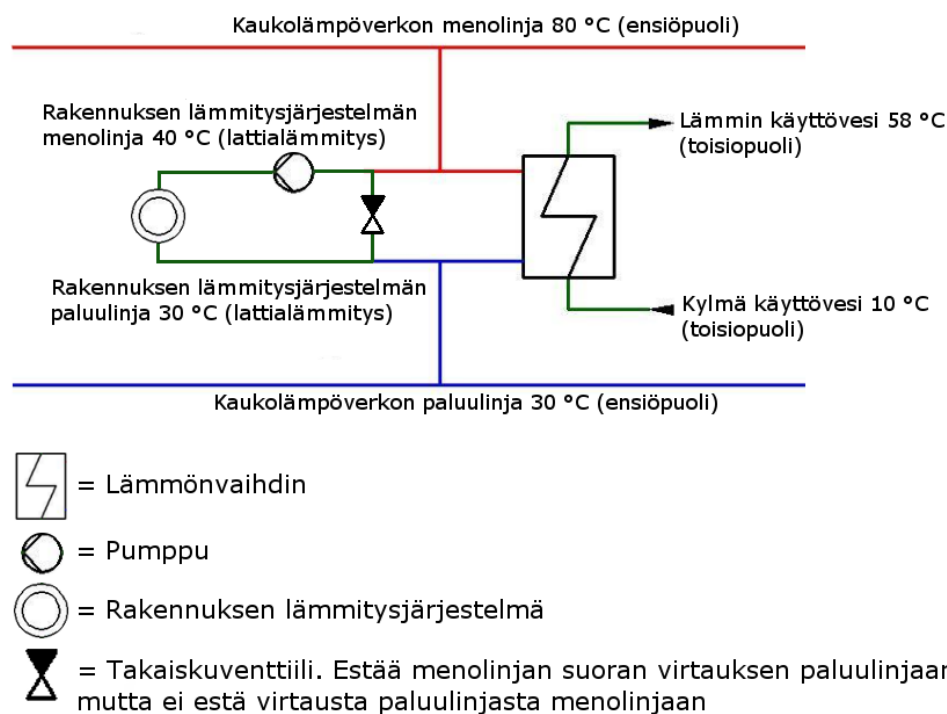
Matalalämpötilaverkon kaukolämpöjohdot

Joustavat muoviputket soveltuvat matalalämpötilaverkon kaukolämpöjohdoiksi. Muoviputket mitoitetaan toimimaan 1.0 MPa paineella sekä jatkuvassa 80 °C lämpötilassa. Hetkellisesti muoviputket kestävät 95 °C lämpötiloja. Muoviputkia toimitetaan määrämittaisina kieppeinä, jolloin asentaminen voidaan toteuttaa ilman jatkosauvoja ja on täten jäykän putken asentamista nopeampaa. (Koskelainen ym. 2006, 143.)

4.2 Rakennuksen lämmitysjärjestelmän suora kytkentä matalalämpötilaverkossa

Rakennuksen lämmitysjärjestelmän suora kytkentä tarkoittaa kytkentää, jossa kaukolämpövesi kiertää rakennuksen lämmitysjärjestelmässä ja asiakasliitettä voidaan toteuttaa ilman lämmityksen lämmönvaihdinta. Suora kytkentä on mahdollista, jos kaukolämpöverkon lämpötila ja painetaso ovat soveltuvia rakennuksen lämmitysjärjestelmälle. (District Heating and Cooling Connection Handbook n.d. 76.)

Jos kaukolämpöverkon lämpötila on rakennuksen lämmitysjärjestelmän lämpötilaa korkeampi, voidaan lämmitysjärjestelmän yhteyteen kytkeä veden sekoituspiiri ja kiertopumppu, jolloin lämmitysjärjestelmän lämpötila voidaan säätää kaukolämpöverkon lämpötasoa pienemmäksi (Fact Sheet 2016). Rakennuksen lämmitysjärjestelmän suora kytkennän kytkentäperiaate on esitetty kuviossa 10, jossa käyttövesi tuotetaan epäsuorasti lämmönvaihtimen välityksellä.



Kuvio 10. Rakennuksen lämmitysjärjestelmän suora kytkennän kytkentäperiaate (alkup. kuvio ks. Kaukolämmitysjärjestelmien keventämismahdollisuudet matalan energian kulutuksen alueilla 2014, 20)

Suorakytkennässä lämmitysjärjestelmän paineeseen vaikuttaa rakennuksen sijainti kaukolämpöverkossa ja kaukolämpöverkossa tapahtuvan pumppaustarpeen vaihtelu. Kaukolämpöverkossa tapahtuvan painevaihtelun vuoksi lämmitysjärjestelmän korkein toimintapaine voi ylittyä. Paineen kontrolloimiseksi suorakytkennän yhteyteen on asennettava paineensäätöventtiili. (District Heating and Cooling Connection Handbook n.d. 77.)

Suora kytkentä voi olla epäsuoraa kytkentää taloudellisempi, sillä suora kytkentä on mahdollista toteuttaa ilman rakennuksen lämmitysjärjestelmän lämmönvaihdinta, kiertopumppua, paisuntasäiliötä tai lämmitysjärjestelmän täyttö- ja varoventtiiliä, sillä vedenkäsittely on järjestetty kaukolämpöyhtiön toimesta kaukolämpöverkossa. (Mts. 77.)

4.3 Matalalämpötilaverkon haasteet

Rakennus voidaan liittää matalalämpötilaverkkoon lämmönvaihtimella, kuten tavallisessa kaukolämpöverkon lämmönjakokeskuksessa, mutta matalan toimintalämpötilan takia lämmönvaihtimen täytyy toimia korkealla hyötysuhteella, jotta matalalämpötilaisen kaukolämpöveden jäähtymä saadaan mahdollisimman suureksi. Lämmönvaihtimen hyötysuhdetta voidaan parantaa suurentamalla lämmönvaihtimen kokoa. (Guidelines for Low-Temperature District Heating, 2014, 13-14.)

Käyttöveden lämmittäminen matalalämpötilaverkossa kesäaikana on ongelmallista, sillä rakennusten tilojen lämmittämisen tarvetta ei ole ja virtaus kaukolämpöverkossa on vähäistä, jolloin kaukolämpövesi viilentyy. Viilentyminen aiheuttaa viiveen lämpimän käyttöveden tuotantoon tai lämmintä käyttövettä ei pystytä lainkaan lämmittämään tavoitelämpötilaan. (Guidelines for Low-Temperature District Heating, 2014, 16; Tulevaisuuden kaukolämpöasuinalueen energiaratkaisut 2014, 57.)

Viilenemisen estämiseksi kaukolämpöverkkoon voidaan kytkeä ohituslinja, jonka läpi kaukolämpövedettä juoksutetaan hitaasti menolinjasta paluulinjaan rakennuksen lämmönvaihtimen ohitse. (Guidelines for Low-Temperature District Heating, 2014, 13.)

5 Kaukolämpöverkon mitoitusperiaatteita

5.1 115 °C, 1,6 MPa kaukolämpöverkon mitoitusperiaatteet

Lähtökohtana kaukolämpöverkon mitoitusprosessille on selvittää mitoitettavan alueen mitoitusparametrit, jotka ovat:

- Rakennusten tilojen lämmityksen tehontarve Φ_L .
- Rakennusten lämpimän käyttöveden tehontarve Φ_{LKV} .
- Kaukolämpöveden lämpötilaero meno- ja paluulinjassa ΔT .

- Painehäviöt putkistossa kPa/km.
- Lämmöntuottokohteen sijainti.
- Alueen mahdollinen kehittyminen tulevaisuudessa.

(Koskelainen ym. 2006, 211-213.)

Kaukolämpöverkon ja tuotantolaitoksen pitää pystyä toimittamaan lämmöntuotto-kohteesta asiakkaalle tarvittava lämpöteho sekä vähintään 60 kPa paine-eron kaikissa tilanteissa (mts. 153-155).

Kaukolämpöjohtojen mitoitus

Kaukolämpöjohdot mitoitetaan johdossa kulkevan veden massavirran ja mitoituspainehäviön perusteella. Veden massavirta lasketaan kaavalla 11 (mts. 212):

$$\dot{m} = \frac{\Phi_{mit}}{c_{pv}\Delta T} \quad (11)$$

missä \dot{m} = veden massavirta kg/s

Φ_{mit} = kaukolämpöjohdon mitoitusteho

c_{pv} = veden ominaislämpökapasiteetti 4,2 kJ/(kg, °C)

ΔT = kaukolämpöveden lämpötilaero meno- ja paluulinjassa

Kaukolämpöveden lämpötilaerot meno- ja paluulinjassa ja mitoituspainehäviöt

Kaukolämpöveden meno- ja paluuveden lämpötilaero mitoitusilanteessa määritetään korkeimman menolämpötilan, sekä rakennuksen lämmityksen lämmönvaihtimen ensiöpuolen korkeimman paluulämpötilan erotuksena (Flyktman 2016.) Usein mitoituslämpötilana käytetään kumminkin pienempää arvoa, jolloin kaukolämpöverkon tehonvälityskyky on mitoitustehoa suurempi (Simpura 2016). Mitoituspainehäviön ohjearvona liittymisjohdoissa käytetään arvoa 200 Pa/m ja runkojohdoissa arvoa 100 Pa/m (Koskelainen ym. 2006, 155-156).

Kaukolämpöjohtojen mitoitusvahot

Kaukolämpöjohdot mitoitetaan käyttäen Jyväskylän Energian mitoitustapaa. Pientalojen liittymisjohtojen mitoitustehona käytetään rakennuksen tuntikeskitehoa. Runkojohdot mitoitetaan runkojohtoon liittyneiden rakennuksen tuntikeskitehon summan perusteella. (Simpura 2016).

Yksittäisen rakennuksen tehontarpeen vaihteluun vaikuttaa monet eri tekijät: ulkolämpötila, viikonpäivä, vuorokaudenaika tai lämpimän käyttöveden käyttö. Runkojohdossa tehontarpeen vaihtelu on tasaisempaa, sillä runkojohtoon liittyneiden yksittäisten rakennusten tehontarpeet eivät todennäköisesti osu samalle ajanhetkelle. Huipputehontarpeiden käytön eriaikaisuuden takia runkojohtojen välittämän kokonaistehontarpeen suuruus on huomattavasti runkojohtoon liittyneiden rakennusten yhteenlaskettua huipputehontarvetta pienempi. (Koskelainen ym. 2006, 44.)

5.2 80 °C, 0,6 MPa, matalalämpötilaverkon mitoituseriaatteen

Matalan toimintalämpötilan takia matalalämpötilaverkon jäähtymä jää pieneksi. Verkon toimintalämpötila täytyy suhteuttaa verkon välittämään kaukolämpötehoon. Tanskassa käytetään erittäin matalalla 55-50 °C lämpötilalla toimivaa matalalämpötilaverkkoa. Toimintalämpötila ei välttämättä riitä kattamaan huipputehontarvetta Suomen ilmastossa, joka on huomattavasti Tanskan ilmastoa kylmempi. Lisäksi lämmin käyttövesi tulee pystyä lämmittämään 58 °C lämpötilaan. Suomen olosuhteissa toimintalämpötila voi olla esimerkiksi 60 – 80 °C. (Guidelines for Low-Temperature District Heating, 2014, 25, 37; Tulevaisuuden kaukolämpöasuinalueen energiaratkaisut 2014, 46; Rakennusten kaukolämmitys, 2014, 57.)

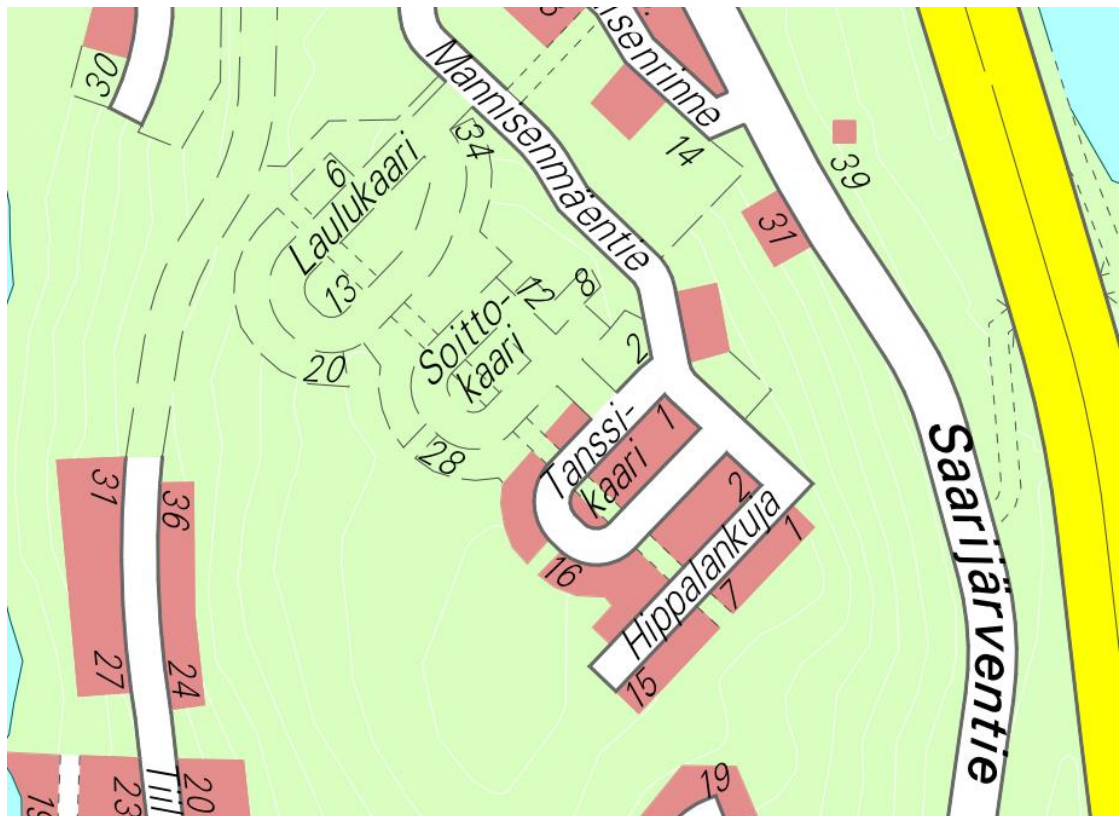
Jotta putkisto pystytään toteuttamaan mahdollisimman pienillä putkikokoluokilla, kannattaa matalalämpöverkko mitoittaa toimimaan suurimmalla paineella, mitä valittu johtotyyppi jatkuvassa kuormituksessa kestää kuitenkin sillä rajoituksella, ettei veden virtausnopeus ylitä arvoa 2 m/s. (Guidelines for Low-Temperature District Heating 2014, 20.)

Putkikokojen pienentäminen verkoston painetta suurentamalla selittyy sillä, että kaukolämpöveden massavirta on mahdollista siirtää pienemmässä putkessa, jos kau-

kolämpöveden virtausnopeutta nostetaan pumpun paineentuottoa lisäämällä (Koskelainen ym. 2006, 172). Pumpun paineentuoton ylärajana toimii kaukolämpöverkon suunnittelupaine (mts. 201).

6 Kaukolämpöverkkojen mitoituksen kohdealue

Tutkimuskohteeksi valittiin asuinalue Jyväskylän Mannisenmäeltä (ks kuvio 11). Asuinalue paikannettiin Jyväskylän kaavoituksen asiakaspalvelun avulla. Asuinalueen valintakriteereinä käytettiin asuinalueen uutuutta sekä pientalopainotteista kaavoitusta, lisäksi alueen kaavoituksessa määrätään jokaisen rakennuksen liittyminen kaukolämpöverkkoon. Tutkittavaksi alueeksi Mannisenmäeltä rajattiin kadut Laulukaari, Soittokaari, Tanssikaari ja Hippalankuja, joilla sijaitsee 83 pientalotonttia. Tonteista 79 on yhden asunnon omakotitontteja ja 4 kahden asunnon paritalotontteja. Kaikissa yhden asunnon rakennustonteissa on rakennusoikeutta 250 m^2 ja kahden asunnon rakennustonteilla on rakennusoikeutta 400 m^2 (Jyväskylän karttapalvelu n.d.). Rakennusoikeus määrää, kuinka paljon tontille saa enimmillään rakentaa (Kaarina 2016).



Kuvio 11. Mannisenmäen asuinalue (Jyväskylän karttapalvelu n.d.)

6.1 Mannisenmäelle luodun kaukolämpöverkon rakennukset

Mannisenmäelle sijoitettiin esimerkkirakennukset kaukolämpöverkon luomista varten. Esimerkkirakennukseksi valittiin kaavoituksen perusteella yksi yhden ja yksi kahden asunnon rakennus. Rakennusten valintakriteerit olivat nykypäivän energiatehokkuusvaatimustenmukaisuus sekä rakennuksen kerrosala ja rakennuksen tuli sijaita Jyväskylän alueella. Rakennuksen kerrosalan ohjearvona käytettiin Jyväskylän rakennusvalvonnan asiantuntijan arviota nykypäivän keskimääräisistä Jyväskylään rakennettujen rakennusten pinta-alasta. Uusien yhden asunnon rakennusten keskimääräinen pinta-ala on noin 150 m² ja kahden asunnon pinta-alat ovat noin 150 m² – 250 m² (Mustonen 2016). Valittujen rakennusten tiedot ovat peräisin Jyväskylän rakennusvalvonnan arkistopalveluista. Rakennusten tiedot ovat taulukossa 3.

Taulukko 3. Mannisenmäen esimerkkirakennukset

Rakennus- lupatunnus	Valmistumisvuosi	Asuntoja	Lämmitetty nettoala m ²	Kerrosala m ²
179-2013- 928	2013	1	129	146
179-2015- 1328	2015	2	214	248

6.1.1 Esimerkkirakennusten lämpöenergian kulutus ja lämmityksen tehontarve

Mannisenmäen esimerkkirakennusten 179-2013-928 ja 179-2015-1328 laskennallista ostoenergiaa Jyväskylän sääolosuhteissa ei voida käyttää rakennuksen lämpöenergian kulutuksena, sillä ostoenergian tarpeeseen vaikuttaa oleellisesti rakennuksen lämmitysjärjestelmä ja rakennuksen sisäiset uusiutuvat energianlähteet. Rakennusten energiankulutukset arvioitiin uudestaan vastaamaan energiankulutusta maan keskiosan sääolosuhteissa. Energiankulutukset määritettiin kahdella kulutustasolla: nykypäivän energiatehokkuusvaatimusten täyttävän rakennuksen energiankulutus (käytetään jatkossa lyhennettä: K1 = kulutus 1) sekä matalaenergiatalon energiankulutus (käytetään jatkossa lyhennettä: K2 = kulutus 2). Matalaenergiatalon energiankulutus otettiin tutkielmaan mukaan, sillä se on huomattavasti tavallisen rakennuksen energiankulutusta pienempi (Matalaenergiatalo 2016.)

Rakennusten lämmityksen tarvitsema energia laskettiin Keski-Suomen energiatoimiston sekä Jyväskylän ammattikorkeakoulun tekemällä pientalojen lämmitystapojen vertailulaskurilla (Pientalojen lämmitystapojen vertailulaskuri 2016). Vertailulaskuri ei laske rakennuksen tarkkaa energiankulutusta, mutta antaa suuntaa antavan suuruusluokan energiankulutuksesta (Lämmitystapojen vertailulaskuri n.d.).

Energiankulutuksen laskennan lähtötietoina käytettiin rakennusten 179-2013-928 ja 179-2015-1328 lämmintä nettopinta-alaa (ks. liite 3 ja 4) sekä rakennuksen huone-

korkeuden lähtötietona käytettiin arvoa 2,6 metriä, sillä asuintalojen tyypillinen huonekorkeus on 2,4 – 2,8 metriä (Lämmitystapojen vertailulaskuri n.d.). Laskuri laskee lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarpeen asukasluvun perusteella, joten asukasmääränä laskurissa käytettiin arvoa 0. Laskuri asetettiin laskemaan energiankulutuksen maan keskiosissa jolloin sääolosuhteet vastaavat Jyväskylän sääolosuhteita.

Rakennuksen lämpimän käyttöveden energiantarve laskettiin rakennuksen lämpimän käyttöveden kulutuksen perusteella. Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve määritetään kaavalla 12 (Koskelainen ym. 2006, 57):

$$Q_{lkv} = \rho_v * c_{pv} * V_{lkv} * (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad (12)$$

missä Q_{lkv} = lämpimän käyttöveden energiankulutus kWh

ρ_v = veden tiheys 1000 kg/m³

c_{pv} = veden ominaislämpökapasiteetti 4,2 kJ/(kg K)

V_{lkv} = lämpimän käyttöveden kulutus m³

$T_{lkv} - T_{kv}$ = lämpimän ja kylmän käyttöveden lämpötilaero (58 – 10 =) 48 °C.

Lämpimän käyttöveden kulutus V_{lkv} lasketaan kaavalla 13 (mts. 57):

$$V_{lkv} = V_{lkv,om,bra} * A_{br} \quad (13)$$

missä $V_{lkv,om,bra}$ = lämpimän käyttöveden ominaiskulutus dm³/brm²

A = rakennuksen bruttoala m².

Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus asuinrakennuksessa on vuodessa 600 dm³/brm² (mts. 57). Rakennuksen bruttopinta-alana käytettiin rakennusten 179-2013-928 ja 179-2015-1328 maanpäällisiä kerrostasoaloja (ks. liite 3 ja 4).

Edellä mainituilla menetelmillä lasketut rakennusten energiankulutukset ovat taulukossa 4. Energiankulutukset ovat pyöristetty ylöspäin lähimpään sataan. Huomioita-

vaa arvoissa on se, että ne eivät vastaa rakennusten alkuperäisiä energiakulutuslaskemia, mutta energiankulutuksen suuruusluokka vastaa rakennuksen pinta-alan sekä rakennusten rakennustyyppin perusteella laskettua energiankulutusten yleistaso.

Taulukko 4. Esimerkkirakennuksille määritetyt lämmitysenergiankulutukset

Rakennus	Lämmitys kWh/a	LKV kWh/a	Yhteensä kWh/a	Ominaiskulutus kWh/a/m ²
928 K1	13100	5100	18200	125
1328 K1	21700	8700	30400	123
928 K2	8100	5100	13200	86
1328 K2	13400	8700	22100	91

Taulukossa 4 olevat lyhenteet ovat:

- 928 = rakennus 179-2013-928
- 1328 = rakennus 179-2015-1328
- LKV = lämmin käyttövesi.

Menetelmällä lasketut energiankulutukset vastaavat hyvin kaukolämmitettyjen rakennusten ominaisenergiankulutuksia (ks. kuvio 2).

6.1.2 Esimerkkirakennusten mitoitustehot

Rakennusten lämmityksen tehontarve laskettiin rakennusten huipunkäyttöajan perusteella sekä rakennusten energiankulutusten perusteella. Huipunkäyttöaika pientalolla on tyypillisesti 2200 tuntia vuodessa. Lämmityksen mitoitusteho lasketaan kaavalla 14 (Kaukolämmön keventämismahdollisuudet matalan energiankulutuksen alueella 2014, 19):

$$L\ddot{a}mmitys\ kW = \frac{L\ddot{a}mmitys\ (kWh/rakennus)}{L\ddot{a}mmityksen\ huipunk\ddot{a}ytt\ddot{o}aika} \quad (14)$$

Rakennusten lämpimän käyttöveden suurin tehontarve määritettiin rakennuksen lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaaman perusteella sekä kaavalla 15 (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2013, 64):

$$\Phi_{LKV} = \rho_v c_{pv} q_v (T_{lkv} - T_{kv}) \quad (15)$$

missä Φ_{LKV} = käyttöveden lämmityksen lämpötehontarve

ρ_v = veden ominaistiheys = 1000 kg/m³

c_{pv} = veden ominaislämpökapasiteetti = 4,2 kJ/(kg K)

q_v = lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama m³/s

T_{lkv} = lämpimän käyttöveden lämpötila

T_{kv} = kylmän käyttöveden lämpötila

$(T_{lkv} - T_{kv})$ arvona käytetään 48 °C.

Rakennusten mitoitettut tehontarpeet ovat taulukossa 5, tulokset ovat pyöristetty lähimpään kokonaislukuun.

Taulukko 5. Esimerkkirakennusten tehontarpeet

Rakennus	LKV kW	Lämmitys kW
928 K1	60	6
1328 K1	73	10
928 K2	60	4
1328 K2	73	6

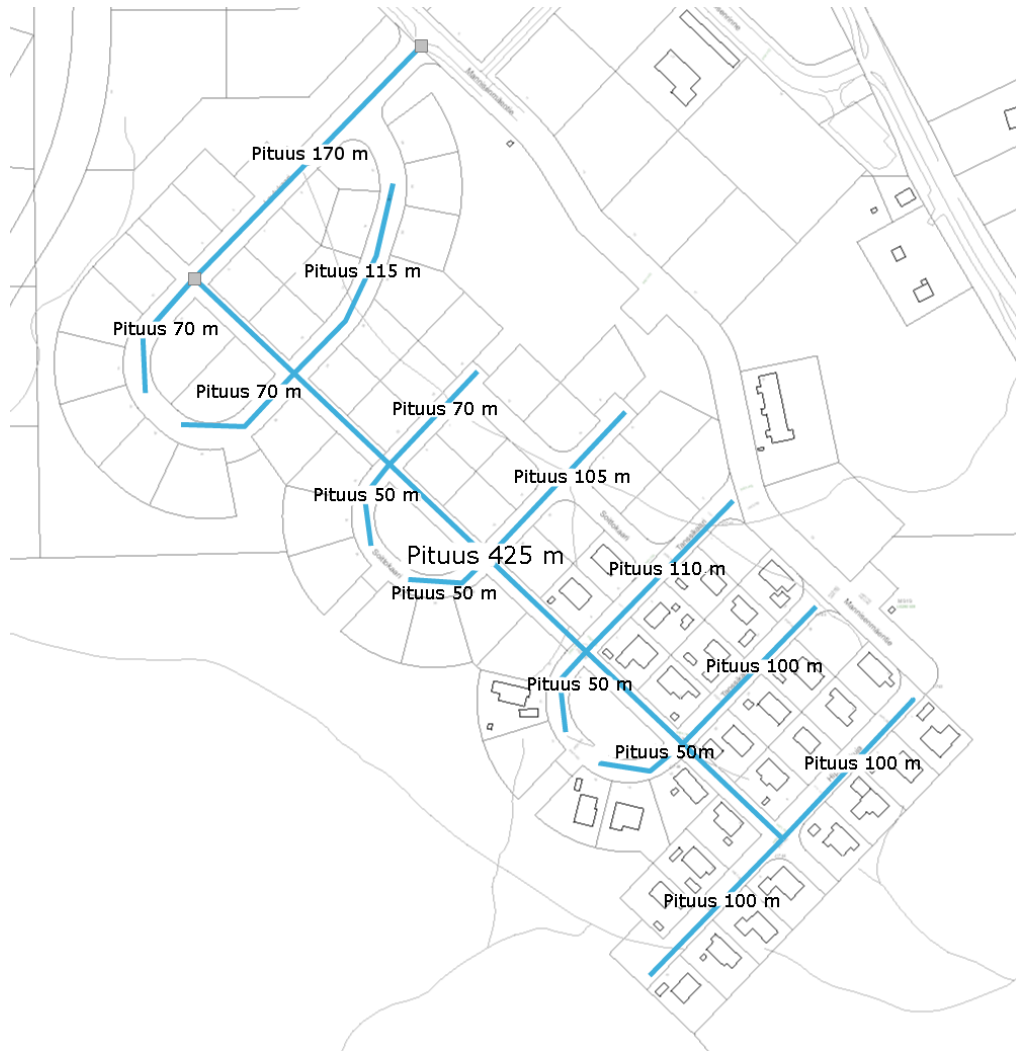
Kaukolämpöjohtojen mitoitusta varten rakennuksille määritettiin lämmityksen tunti-keskitehot (ks. taulukko 6).

Taulukko 6. Esimerkkirakennusten tuntikeskitehot

Rakennus	Tuntikeskiteho LKV kW	Tuntikeskiteho kW
928 K1	6,8	12,8
1328 K1	11,5	21,3
928 K2	6,8	10,5
1328 K2	11,5	17,6

6.2 Mannisenmäelle luotu kaukolämpöverkko

Mannisenmäelle luotiin kuvitteellinen kaukolämpöverkko, jonka kaukolämpöjohtojen reittivalintoina käytettiin asuinalueen katuja. Alueen runkojohtojen yhteenlasketuksi pituudeksi kertyi 1635 metriä. Johtojen pituus määritettiin Jyväskylän Energian johtokartan piirtotyökalun avulla (ks. kuvio 12). (Johtokartta n.d.)



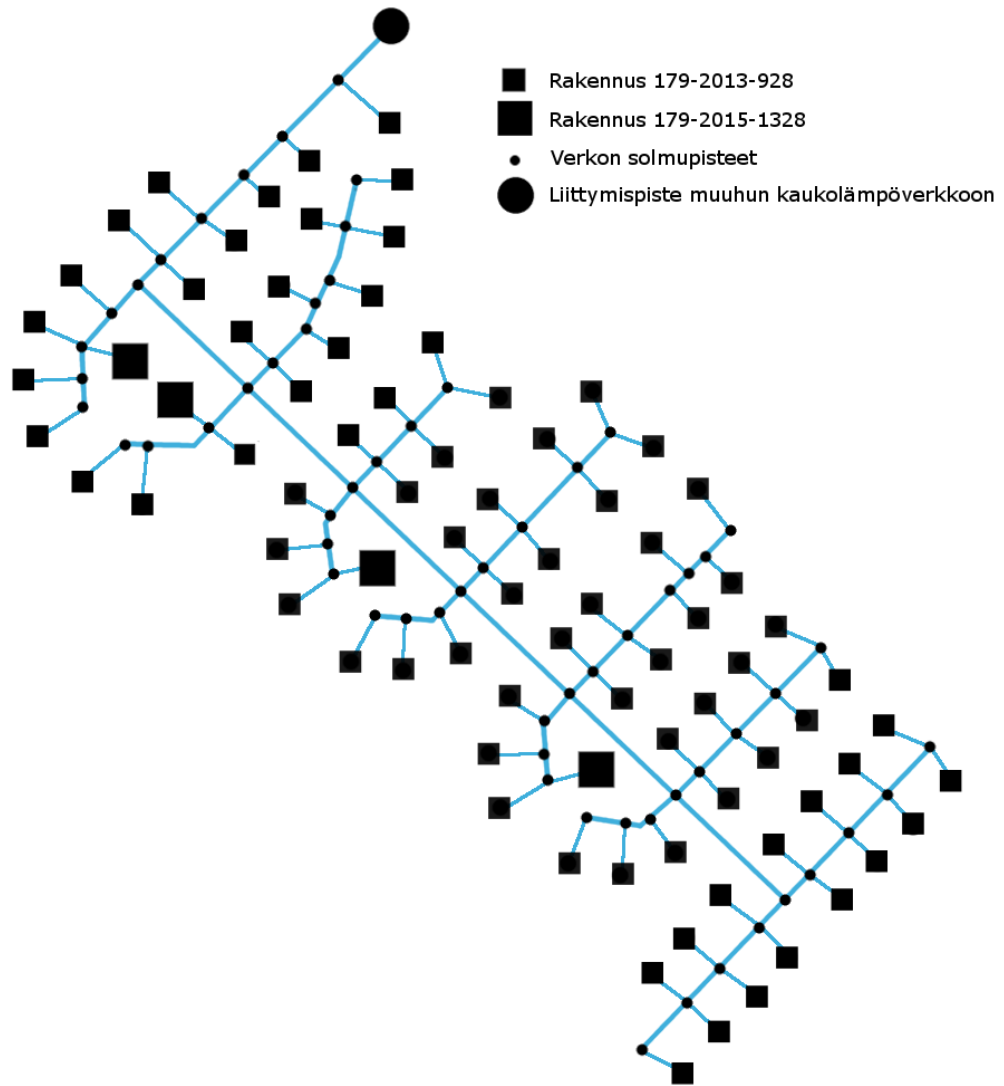
Kuvio 12. Mannisenmäelle luodun kaukolämpöverkon runkojohtojen pituudet (alkup. kuvio ks. Johtokartta, n.d.)

Liittymisjohtojen pituudeksi arvioitiin käyttämällä Jyväskylän Energian johtokartassa näkyviä rakennusten sijainteja. Alueelle luodun kaukolämpöverkon runkojohdoista piirrettiin erilaisilla variaatioilla liittymisjohtoja kuvaavia viivoja, joiden keskimääräiseksi pituudeksi tuli kartan mittakaavassa 18,7 metriä (ks. kuvio 13). Kaukolämpöverkon mitoituslaskelmien selkeyttämiseksi arvioitu talojohtojen keskimääräinen pituus pyöristettiin luvuksi 20 metriä.



Kuvio 13. Mannisenmäelle luodun kaukolämpöverkon liittymisjohdot (alkup. kuvio ks. Johtokartta n.d.)

Rakennukset sijoitettiin Mannisenmäelle luotuun kaukolämpöverkkoon 100 % liittymisasteen perusteella (ks. kuvio 14). Kahden asunnon rakennukset ja yhden asunnon rakennukset sijoitettiin tonteille alueen kaavoituksen perusteella



Kuvio 14. Mannisenmäelle luodun kaukolämpöverkon asiakkaat ja verkon liittymiskohta muuhun kaukolämpöverkkoon

Kaukolämpöverkon kokonaisenergiankulutukset ovat taulukossa 7 kun rakennuksia 179-2013-928 on 79 kpl. ja rakennuksia 179-2015-1328 on 4 kpl.

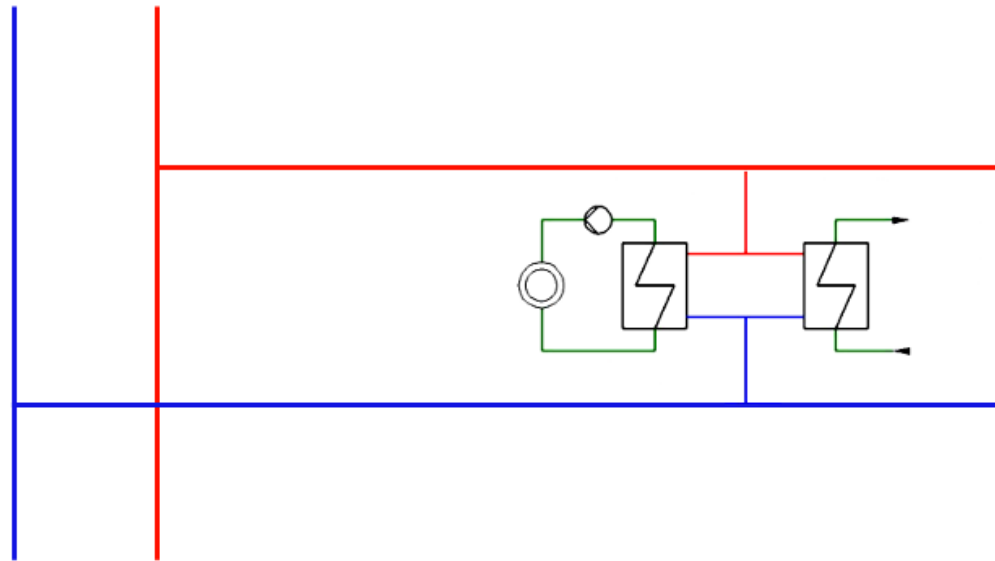
Taulukko 7. Mannisenmäen kaukolämpöverkon vuotuinen kokonaisenergiankulutus kulutustasolla K1 ja K2

	K1, MWh/a	K2, MWh/a
Energiankulutus	1541	1112

6.2.1 Mannisenmäen kaukolämpöverkon toteutusvaihtoehdot ja putkilinjojen mitoitus

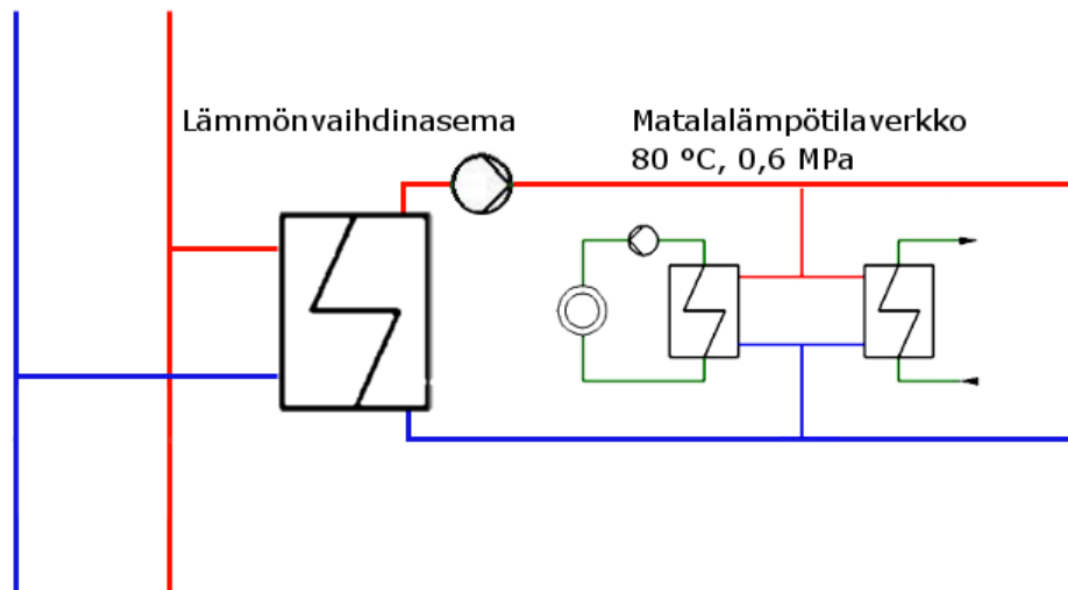
Verkko mitoitettiin kolmella erilaisella mitoitusparametrilla, joita kutsutaan jatkossa lyhenteillä V1, V2 ja V3 (V = vaihtoehto), lisäksi jokainen vaihtoehto mitoitettiin kulu- tustasojen K1 ja K2 mukaan. V1 kuvaa tavanomaista kaukolämpöverkkoa, jonka lait- teiden ja johtojen suurin käyttölämpötila ja paine ovat 120 °C, 1,6 MPa ja virtausput- kina käytetään jäykkiä teräsputkia (ks. kuvio 15). Verkko V1 mitoitettiin käyttäen liit- tymisjohtojen ja runkojohtojen painehäviöiden ohjearvoja. V2 sekä V3 kuvaavat ma- talalämpötilaverkkoa, jotka mitoitetaan toimimaan alhaisemmalla lämpötilalla läm- pöhäviöiden vähentämiseksi sekä ottaen huomioon taipuisien kaukolämpöjohtojen ominaisuudet. Verkot V2 ja V3 liitetään lämmönsiirrinasemalla korkeapaineisem- paan, ja -lämpötilaisempaan kaukolämpöverkkoon. Verkot V2 ja V3 mitoitettiin putki- valmistajan Brugg Pema Oy:n PEX- muovista valmistettujen aluelämpöjohtojen omi- naisuuksien mukaan, jotka kestävät 0,6 MPa painetta, eikä tällöin verkon painehäviöt (=pumpun paineentuoton tarve) saa ylittää arvoa 0,6 MPa. Verkossa V2 rakennuksen käyttövesi ja lämmitysjärjestelmä kytketään verkkoon epäsuorasti lämmönvaihtimien välityksellä (ks. kuvio 16). Verkossa V3 rakennusten lämmitysjärjestelmä kytketään kaukolämpöverkkoon suoraan ja käyttövesi lämmitetään epäsuorasti lämmönvaihti- men välityksellä (ks. kuvio 17).

Kaukolämpöverkko
115 °C, 1,6 MPa



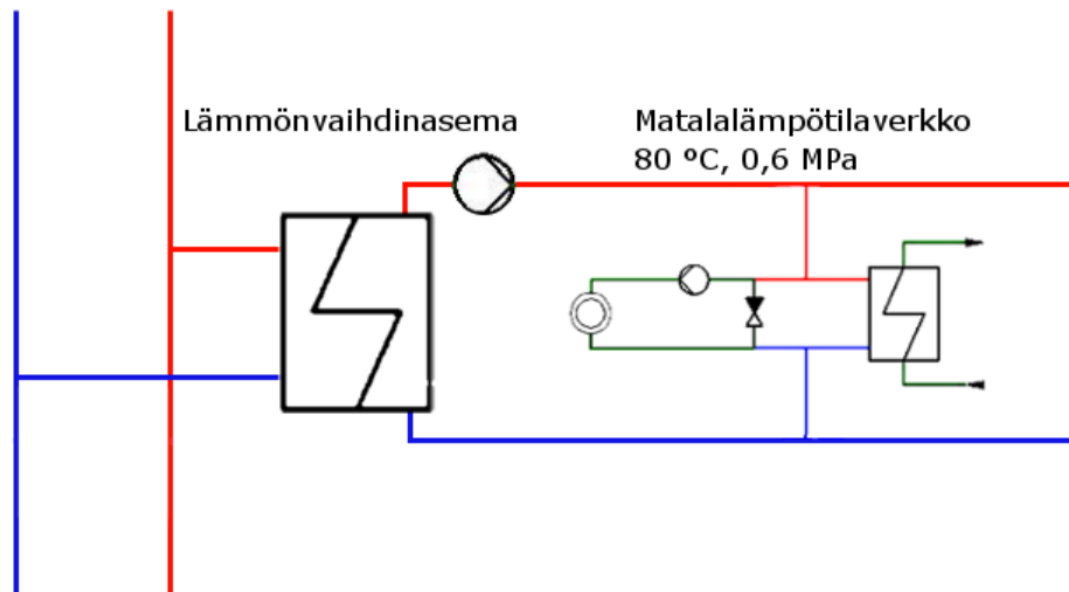
Kuvio 15. Mannisenmäen kaukolämpöverkon V1 toimintaperiaate (alkup. kuvio ks. Kaukolämmitysjärjestelmien keventämismahdollisuudet matalan energian kulutuksen alueilla, 2014 20)

Kaukolämpöverkko
115 °C, 1,6 MPa



Kuvio 16. Mannisenmäen kaukolämpöverkon V2 toimintaperiaate (alkup. kuvio ks. Kaukolämmitysjärjestelmien keventämismahdollisuudet matalan energian kulutuksen alueilla, 2014 20)

Kaukolämpöverkko
115 °C, 1,6 MPa



Kuvio 17. Mannisenmäen kaukolämpöverkon V3 toimintaperiaate (alkup. kuvio ks. Kaukolämmitysjärjestelmien keventämismahdollisuudet matalan energian kulutuksen alueilla, 2014 20)

Putkikokojen mitoitustehon lähtöarvoina käytettiin rakennusten 179-2013-928 ja 179-2015-1328 lämmityksen tuntikeskitehoja. Menolämpötilana verkossa V1 käytettiin arvoa 115 °C ja verkoissa V2 ja V3 muoviputkien korkeinta jatkuvatoimista lämpötilankestoa 80 °C. Kaikissa rakennuksissa oletetaan olevan lattialämmitys, jolloin verkoissa V1 ja V2 mitoituspaluulämpötilana käytetään arvoa 33 °C. Verkossa V3 kaukolämpöveden paluulämpötilana käytetään arvoa 30 °C, joka on lattialämmityksen suurin mitoituspaluulämpötila.

Mitoituslämpötilaerot verkoissa ovat:

- V1 = 82°C
- V2 = 47 °C
- V3 = 50 °C.

Runkojohtojen mitoituksessa valitaan käytännöllisistä syistä sama johtokoko koko kadun matkalle (Koskelainen ym. 2006, 213). Mitoituksen koordinaatteina käytettiin

verkon solmukohtia, jotka ovat nimetty mitoituksen hallitsemiseksi (ks. liite 5) ja solmukohtien väliset etäisyydet ovat liitteessä 6. Koordinaattien avulla jokaiselle runko- ja katujohdolle määritettiin johdon välittämä tehontarve johtoon liittyneen rakennusmäärän perusteella (ks. liite 7). Putkimitoitukset tehtiin mitoitusohjelma Logstor Calculatorilla (ks. liite 8). Mitoitusohjelmalla putkimateriaaliksi voidaan valita PEX-muovi, sekä teräs (Logstor Calculator 2016).

Verkon V1 putkimitoituksen tulokset ovat DN kokoluokissa sekä DN mittaa vastavassa ulkohalkaisijassa millimetreinä. DN mitat ja putken ulkohalkaisija pysyy samana riippumatta putken seinämänvahvuudesta (Prosessiteknikka 2011, 81). Verkon V2 ja V3 kokoluokat ilmoitetaan millimetreinä, sillä muoviputkien yhteydessä ei käytetä DN mittoja (Raatikainen 2016).

Verkon V1 liittymisjohdot sekä pienimmät katujohtot valittiin Jyväskylän Energian käyttämällä putkikokoluokilla. Liittymisjohtoina Jyväskylän Energia käyttää joustavaa teräsputkea (lyhenne = JOP) jonka ulkohalkaisija on 28 mm. Pienimmät runkojohtot ovat kokoa DN40. (Simpura 2016.) Kaikki verkon V1 johdot liittymisjohtoja lukuun ottamatta toteutettiin Mpuk kaksiputkijohdoilla. Verkoissa V2 ja V3 liittymisjohtoiksi valittiin 25 mm halkaisijan muoviputki sekä katujohtoiksi 32 mm muoviputki. Muoviputkien kaksiputkijohtojen suurin koko Brugg-Pema Oy:lla on 63 mm, joten tätä isommat putkikoot toteutetaan yksijohtoputkella ja laskennalliset putkipituudet ovat kaksinkertaisia (Raatikainen 2016). Putkimitoituksen tulokset verkoille V1, V2 ja V3 ovat taulukoissa 8, 9 ja 10.

Taulukko 8. Verkon V1 putkimitoituksen tulokset

Putkikoko DN, ulkohalkaisija mm	Pituus metriä, K1	Pituus metriä, K2
DN25 (liittymisjohdot) = 33,7 mm	1660	1580
DN40 = 48,3 mm	1111	1111
DN50 = 60,3 mm	142	142
DN65 = 76,1 mm	212	382
DN80	170	

Taulukko 9. Verkon V2 putkimitoituksen tulokset

Putkikoko mm	Pituus metriä, K1	Pituus metriä, K2
25	1660	1660
32	1040	1040
40		71
50	71	71
63	142	213
75	424	480
90	340	

Taulukko 10. Verkon V3 putkimitoituksen tulokset

Putkikoko mm	Pituus metriä, K1	Pituus metriä, K2
25	1660	1660
32	1040	1040
40		71
50	71	71
63	284	283
75	480	340

6.2.2 Mannisenmäen kaukolämpöverkon painehäviöt

Verkon suurin painehäviö lasketaan kauimmaisen jakelupisteen Z1 sekä pisteen A (ks. liite 5) väliltä josta lämpöenergia alueelle tulee. Painehäviöt tarkasteltavien solmupisteiden Z1 ja A välillä lasketaan summaamalla solmupisteiden väliset painehäviöt keskenään. (Koskelainen ym. 2006 202, 214.)

Putkien painehäviöiden lisäksi verkon kokonaispainehäviöihin huomioitiin kertaluontoisesti painehäviöitä aiheuttavat kertavastukset jotka syntyvät verkossa olevista

haaroista, käyristä, mutkista, muuttuvista putkihalkaisijoista (Koskelainen ym. 2006 202). Kertavastusten suuruus voidaan huomioida lisäämällä 20 % kokonaispainehäviöihin (Kaukolämmön keventämismahdollisuudet matalan energiankulutuksen alueella 2014 70). Verkkojen V1, V2 ja V3 painehäviöt ovat taulukossa 11.

Taulukko 11. Verkkojen V1, V2 ja V3 painehäviöt

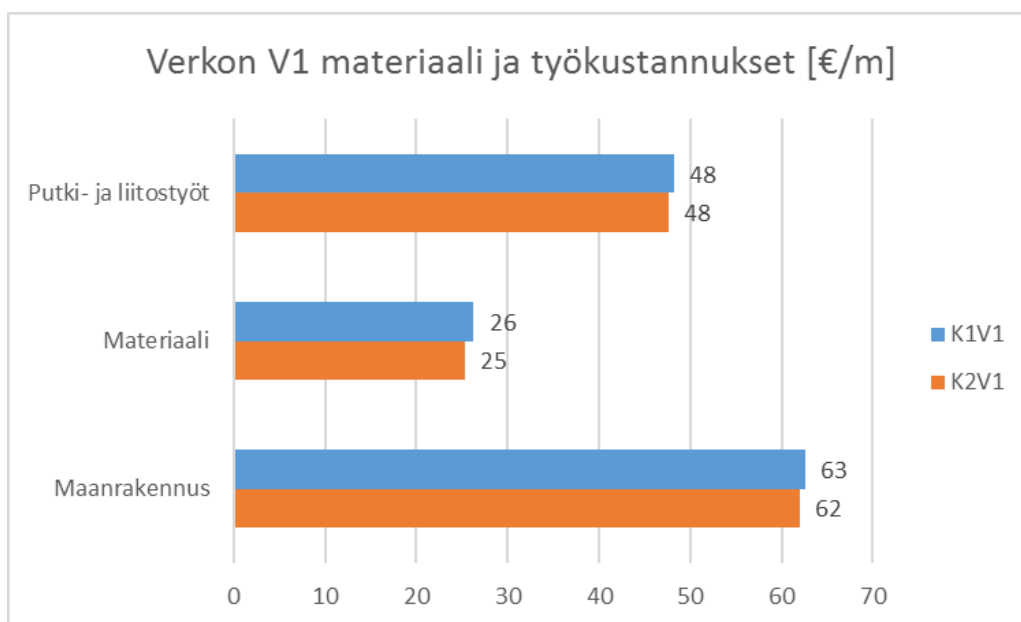
Verkko	Painehäviöt kPa
K1V1	158
K1V2	423
K1V3	588
K2V1	149
K2V2	540
K2V3	454

Huomioitavaa verkkojen välillä on, että verkon V1 painehäviöt ovat pienimmät ja painetta nostamalla pystytään kasvattamaan verkon virtausnopeutta ja täten myös verkon tehonsiirtokykyä. Verkkojen V2 ja V3 (erityisesti K1V3) painehäviöt ja pumpun paineentuoton tarve ovat hyvin lähellä verkoston paineenkeston ylärajaa, joten tehonsiirtokykyä ei juurikaan pystytä nostamaan paineentuottoa ja virtausnopeutta lisäämällä.

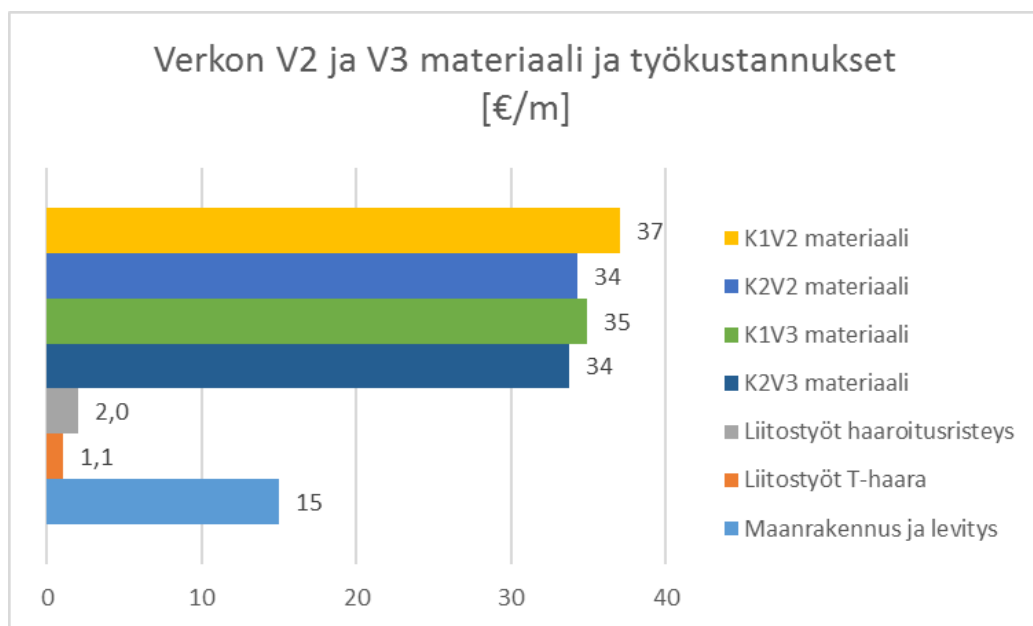
6.2.3 Mannisenmäen kaukolämpöjohtojen investointikustannukset

Verkon V1 rakentamiskustannukset arvioitiin lämpölaitosten vuoden 2015 keskimääräisten toteutuneiden kaukolämpöjohtojen rakentamiskustannusten avulla. Koska kyseessä on uudisalue, arvioitiin verkon V1 lopulliset rakentamiskustannuksen vähentämällä kokonaiskustannuksista 20 % (Simpura 2016).

Verkkojen V1 ja V2 materiaalikustannukset arvioitiin Brugg Pema Oy:n hinnastojen mukaan. Verkkojen hintoihin huomioitiin putkiliittimet sekä liitoksien päälle asennettavat lämpöeristeet sekä haaroituskaivot. Materiaalikustannusten laskemiseen kehitettiin laskuri, joka laskee runkojohdossa olevien liitosten sekä putkikokojen perusteella tarvittavat materiaalmäärät sekä materiaalien hinnat (ks. liite 9). Maanrakennus, putkien levittämiskustannukset sekä putkiliitoskustannukset arvioimiseen käytettiin maanrakennusurakoitsijan Jukka Tuominiemen arviota, jolla on kokemusta muovisten lämpöjohtojen rakentamisesta. Tuominiemi arvioi taipuisan muoviputken maanrakennus, sekä maahan asettamiskustannukseksi 10 -15 €/m, joista laskelmissa käytetään arvoa 15 €/m. Liitoksen hinnaksi Tuominiemi arvioi 100 €/liitos sekä 250 €/haaroituskaivo. Verkkojen V1, V2 ja V3 rakentamis- ja materiaalikustannukset ovat kuvioissa 18 ja 19.



Kuvio 18. Verkon V1 materiaali ja työkustannukset



Kuvio 19. Verkon V2 ja V3 materiaali ja työkustannukset

6.2.4 Verkon V2 ja V3 lämmönvaihdinaseman investointikustannukset

Lämmönvaihdinaseman kustannukset arvioitiin huomioimalla aseman laittilan investointikustannukset, maanrakennuskustannukset, lämmönsiirtimen investointi- ja asennuskustannukset sekä sähköliittymän kustannukset. Laittilan investointi- ja maanrakennuskustannusten arvioimisen mallina käytettiin Saarijärven kaukolämmön Veikontien paineenkorotusasemaa (ks. liite 10).

Lämmönsiirrinaseman tekniikka mitoitettiin Gebwell Oy:n toimesta. Lämmönsiirtimen mitoitustehona käytettiin kaukolämpöverkon suurinta yhtäaikaista tehontarvetta ja pumpun paineentuoton tarpeena verkon ylintä paineenkestoa 0,6 MPa. Gebwell Oy:n tarjous lämmönsiirrinaseman tekniikasta ovat verkolle K1 12500 € ja verkolle K2 12340 €.

Suuntaa antava arvio lämmönsiirrinaseman asennuksen työmäärästä on kolme työpäivää kahdelta asentajalta, jolloin asennuskustannusten suuruusluokka on 5000 – 10000 € riippuen asennuksiin vaadittavasta materiaalmäärästä (Kauppinen 2016).

Lämmönsiirrinlaitteiston mitat ovat: pituus: 2000 mm, syvyys: 800 mm, korkeus: 1800 mm. Lämmönsiirrinlaitteiston sekä pumpun kokonaispaino on 650 kg, laitteisto

vaatii kumminkin suuremman pinta-alan laitteelle asennettavien putkistojen vuoksi. (Kantanen 2016.)

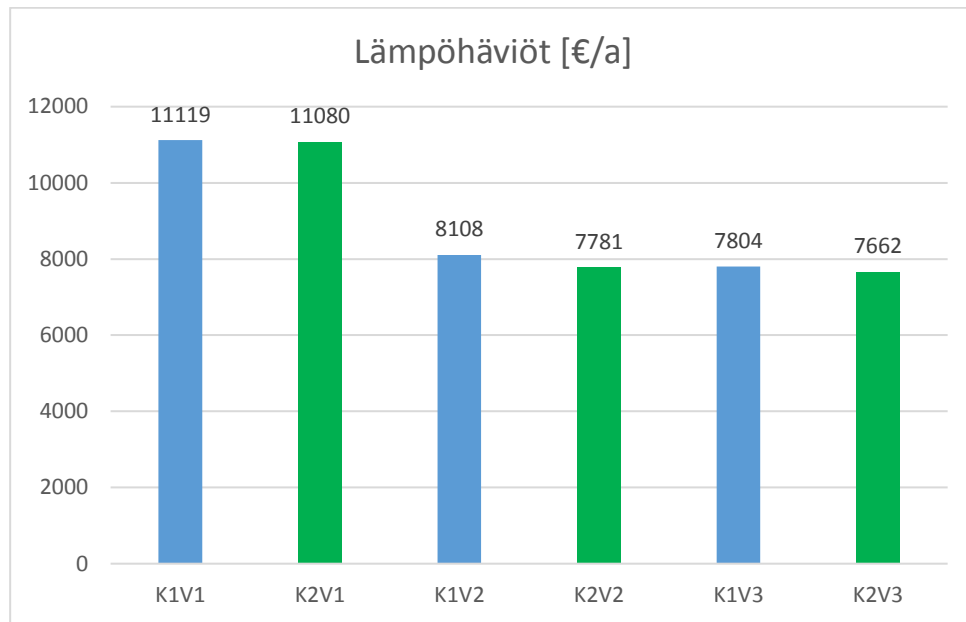
Lämmönsiirrinlaitteiston laitetila hankitaan valmiina elementtinä. Laitetilasta kysyttiin tarjous valmistaja Oy Esari AB:lta. Laitetilaksi valittiin Oy Esari AB:n 20,4 m² -laitetila, joka toimitetaan valmiilla betonisella perustuksella sekä painovoimaisella ilmanvaihdolla ja valmiilla sähkötoilla. Suuntaa antava tarjoushinta tuotteelle on 20000 €. (Rauma 2016.)

Maanrakennuskustannukset laitetilalle määritettiin 20,4 m² laitetalan perusteella. Laitetalan perustukset voidaan toteuttaa kevytperusteisena 300 mm kantavalla sekä eristetyllä ja salaojitetulla kerroksella joka ylittää 1,5 m laitetalan ulkoseinät (Suutari 2016). Maanrakennuskustannuksiksi muodostui 2580 €.

Lämmönsiirrinaseman kokonaiskustannukseksi muodostui verkon K1 kulutustasolla 46775 € ja verkon K2 kulutustasolla 46615 €. Laskelmat ovat liitteessä 11. Saarijärven kaukolämmön paineenkorotusaseman toteutunut kokonaisurakkahinta oli 34000 €, josta laitetalan arvioitu osuus on 10000 – 15000 € (Vilkkilä 2016). Lämmönsiirrinaseman laskennallinen hinta on suuruusluokaltaan verrattavissa Saarijärven paineenkorotusaseman toteutuneeseen urakkahintaan.

6.2.5 Kaukolämpöverkkojen lämpöhäviökustannukset

Kaukolämpöverkkojen lämpöhäviöt laskettiin verkkojen tyypillisillä keskimääräisillä käyttölämpötiloilla, joten tulokset ovat suuntaa antavia (ks. kuvio 20). Verkon V1 lämpöhäviöt laskettiin Mpuk-kaukolämpöjohtojen tilastollisilla lämpöhäviöillä (Simppura 2016). Verkkojen V2 ja V3 lämpöhäviöt laskettiin putkivalmistaja Brugg-Pema Oy:n lämpöjohtojen taulukkoarvoilla (Raatikainen 2016). Verkon V1 lämpöhäviöiden laskenta-arvot kuvaavat tilannetta, kun verkon menolämpötila on 85 ° ja paluulämpötila 45 °C. Verkkojen V2 ja V3 lämpöhäviöt kuvaavat tilannetta, kun verkon menolämpötila on 70 °C ja paluulämpötila 40 °C. Verkon lämpöhäviöiden laskemiseksi tehtiin laskentatyökalu (ks. liite 12).



Kuvio 20. Kaukolämpöverkkojen V1, V2 ja V3 lämpöhäviöt

6.2.6 Kaukolämpöverkkojen kokonaiskustannukset

Kaukolämpöverkon pääomakustannukset jaetaan vuosikustannuksiksi annuiteetin avulla. Annuiteetti lasketaan kaavalla 16 (Isometsä n.d. 31):

$$K = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} * I_o \quad (16)$$

missä: K = vuosikustannus €

I_o = investoinnin suuruus €

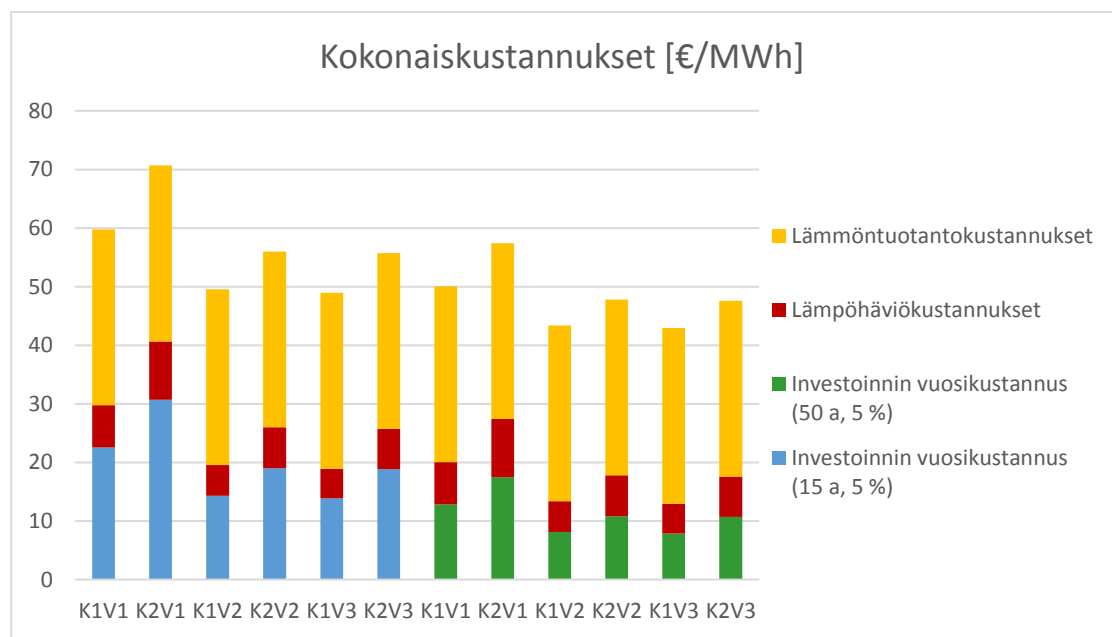
i = laskentakorko

n = investoinnin pitoaika a.

Pääomien vuosikustannukset laskettiin 5 % laskentakorolla sekä 15, ja 50 vuoden pitoajalla. Kaukolämpöverkon vuosittaisiin kokonaiskustannuksiin huomioitiin vuosittaiset investointikustannukset, lämpöhäviökustannukset sekä asiakkaille toimitetun lämmön tuotantokustannukset lämmöntoimittajalle. Lämmöntuotantokustannuk-

sena lämmöntoimittajalle käytetään arvoa 30 €/MWh (Flyktman 2016) jonka perusteella laskettiin toimitetun lämmön tuotantokustannukset ja lämpöhäviökustannukset.

Alueen kaukolämpöverkosta aiheutuvat huoltokustannukset ovat hyvin vähäiset (Flyktman 2016). Lisäksi verkkojen pumppauskustannukset jäävät suhteellisen alhaisiksi verrattuna verkon muihin kustannuksiin (Kaukolämmön keventämismahdollisuudet matalan energiankulutuksen alueella. 2014, 72). Huolto- ja pumppauskustannukset jätetään kustannustarkastelun ulkopuolelle. Kokonaiskustannukset ovat koottu kuvioon 21.



Kuvio 21. Kaukolämpöverkkojen kokonaiskustannukset

Verkot V2 ja V3 olivat edullisimmat kummallakin kulutustasolla johtuen edullisista maanrakennus-, putkisto- ja liitostyökustannuksista. Verkkojen V2 ja V3 materiaalikustannukset olivat verkon V1 materiaalikustannuksia kalliimmat.

7 Kaukolämmön kannattavuus

7.1 Kannattavuus lämmöntoimittajan kannalta

Kaukolämpöverkon kannattavuustarkastelussa huomioitiin edellä mainitut kaukolämmön kokonaiskustannukset. Kaukolämpöverkosta aiheutuviin tuloihin huomioitiin alueen rakennusten energia-, teho- ja liittymismaksu, joiden hintana käytettiin Jyväskylän Energian hinnastoja.

Yhden- ja kahden asuntojen kohdalla käytetään valmiita rakennuksen tilavuuden perusteella määritettyjä perusmaksuja (Kaukolämmön hinnasto 2016). Rakennusten tilavuutena on käytetty rakennusten 179-2013-928 ja 179-2015-1328 todellista rakennustilavuutta (ks. liite 3 ja 4). Rakennustilavuudet sekä tilavuuden perusteella määritetyt perusmaksut ovat taulukossa 12.

Taulukko 12. Esimerkkirakennusten rakennustilavuudet

	Rakennustilavuus m ³	Perusmaksu €/kk. (1.10.2015 alkaen)
179-2013-928	540	32,20 (alv. 24 %)
179-2015-1328	870	50,60 (alv. 24 %)

Kaukolämpöasiakkaan kustannukset eriteltynä ovat taulukossa 13.

Taulukko 13. Kaukolämpöasiakkaan kustannukset

	Perusmaksu €/kk.	Energiamaksu €/MWh	Liittymismaksu €
179-2013-928 (alv. 24 %)	32,20	63,75	2744
179-2015-1328 (alv. 24 %)	50,60	63,75	3354
179-2013-928 (alv. 0 %)	25,97	51,42	2212,91
179-2015-1328 (alv. 0 %)	40,81	51,42	2704,84

Kaukolämpöverkon investointikustannukset pienenevät rakennusten liittymismaksujen ansiosta (Kaukolämmön keventämismahdollisuudet matalan energiankulutuksen alueella 2014, 26). Tässä kannattavuustarkastelussa kaukolämpöverkon vuosittaiset nettotulot muodostetaan vähentämällä asiakkailta kertyneistä verottomista perus- ja energiamaksuista vuosittaiset kokonaiskustannukset.

Investoinnin takaisinmaksuaika lasketaan korollisen takaisinmaksuajan laskentakavalla 17 (Kouki n.d. 1).

$$n = \frac{\ln \frac{1}{1-il/c}}{\ln(1+i)} \quad (17)$$

missä:

n = investoinnin takaisinmaksuaika, a

i = laskentakorko

I = investoinnin suuruus, €

c = nettotulot, €/a

Kaukolämpöverkon nettonykyarvo kertoo paljonko järjestelmä tuottaa kaukolämpöyritykselle rahaa tietyssä tarkasteluajankohtana (Kaukolämmön keventämismahdollisuudet matalan energiankulutuksen alueella. 2014, 27). Jos nettonykyarvon tulos on investointia suurempi, eli positiivinen, on järjestelmä kannattava. Nettonykyarvo lasketaan kaavalla 18 (Isometsä n.d. 37).

$$NNA = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} (S_t + JA_n) - I_0$$

(18)

missä:

NNA = nettonykyarvo

S_t = investoinnin nettotulot

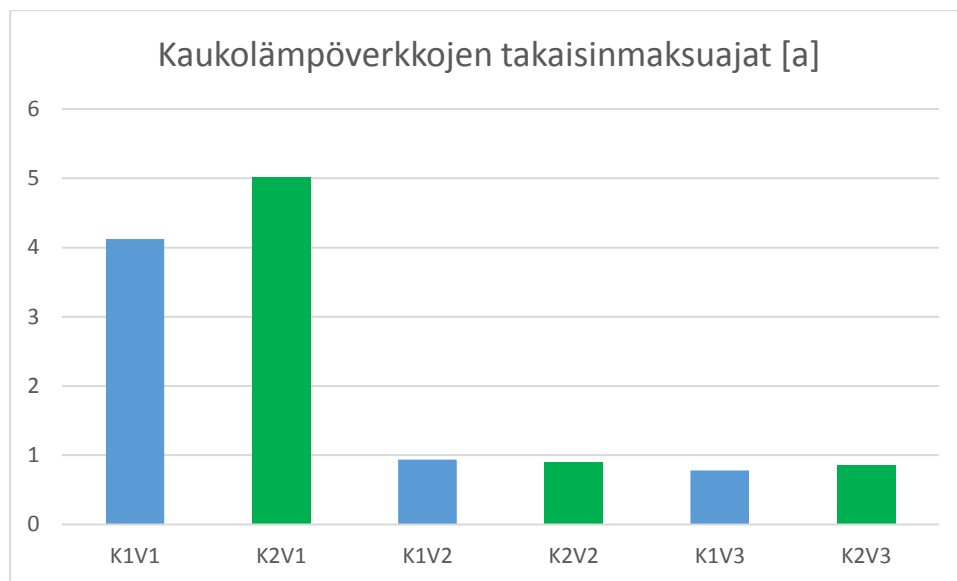
i = laskentakorko

I_0 = investointikustannukset

JA_n = investoinnin arvo pitoajan lopussa (= 0)

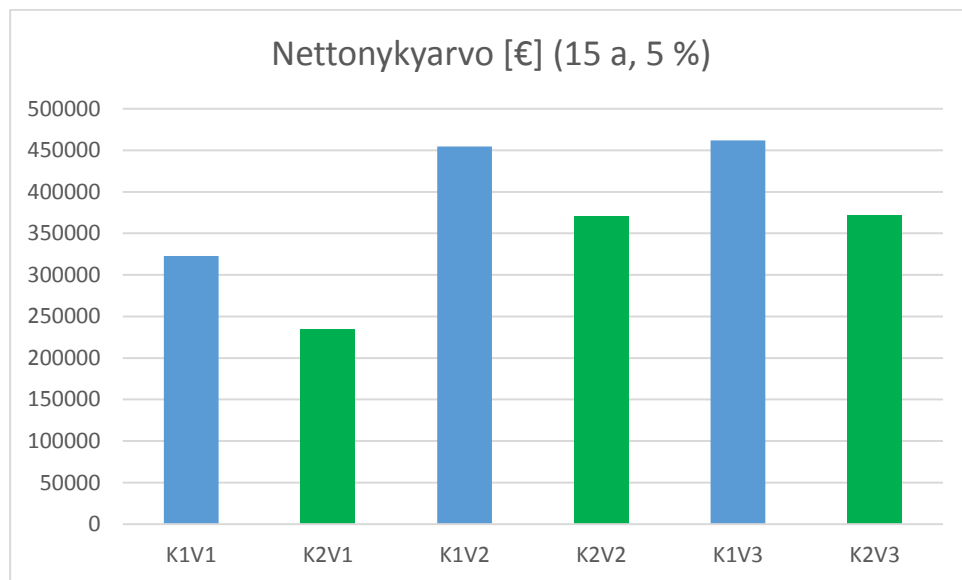
n = pitoaika.

Kaukolämpöverkkojen takaisinmaksuajat sekä nettonykyarvot ovat esitetty kuvioissa 22, 23 ja 24.

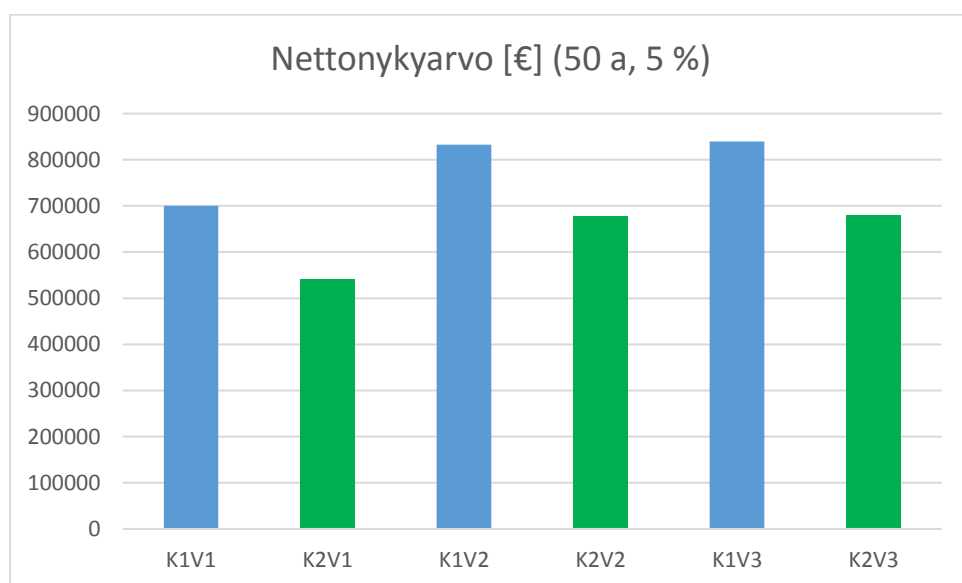


Kuvio 22. Kaukolämpöverkkojen takaisinmaksuajat

Verkon V1 takaisinmaksuaika molemmalla kulutustasolla yli 4 vuotta jota voidaan pitää suhteellisen pitkänä takaisinmaksuaikana. Verkkojen V2 ja V3 takaisinmaksuajat molemmilla kulutustasoilla ovat alle vuoden, joka on erittäin hyvä takaisinmaksuaika.



Kuvio 23. Kaukolämpöverkkojen nettonykyarvot 15 a.



Kuvio 24. Kaukolämpöverkkojen nettonykyarvot 50 a.

Vaikka takaisinmaksuajat eri verkon toteutustapojen välillä vaihtelivat suuresti, ei vaikutus nettonykyarvoon ole yhtä merkittävä. Mitä pidempi tarkastelu-aika nettonykyarvolle otetaan, sen vähemmän eroavaisuuksia eri verkon toteutusvaihtoehtojen välillä on.

7.2 Kaukolämpöverkon vaihtettava rakentaminen

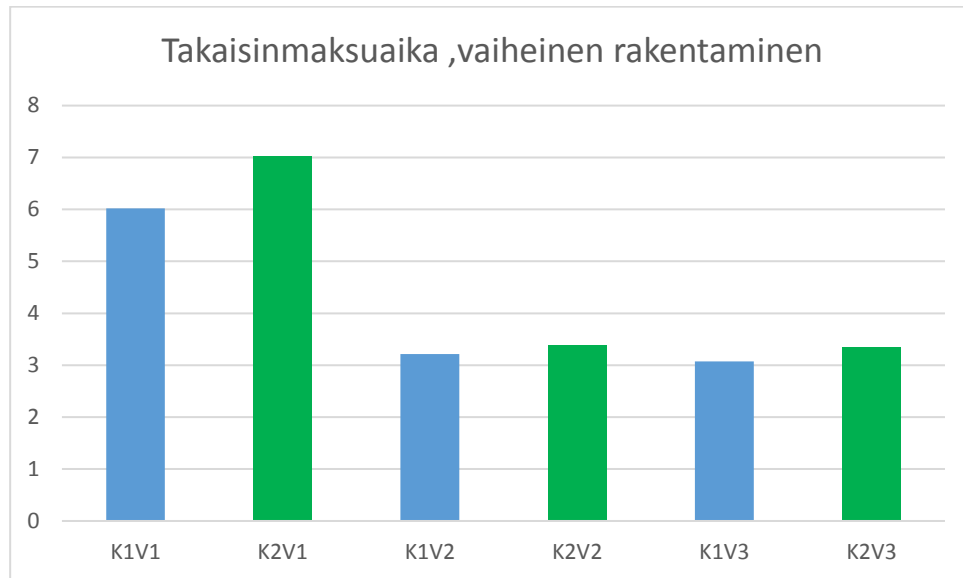
On todennäköistä, että kaukolämpöverkkoa ei pystytä rakentamaan kerralla, vaan rakentaminen tapahtuu esimerkiksi viiden vuoden aikana. Tämä tarkoittaa, että kaukolämpöverkkoon joudutaan tekemään valtaosa investointikustannuksista ennen kuin kaukolämpöasiakkailta saadaan täysiä myyntituloja. On myös todennäköistä, että kaikki asuinalueen potentiaaliset asiakkaat eivät liity kaukolämpöverkkoon. (Kaukolämmön keventämismahdollisuudet matalan energiankulutuksen alueella. 2014, 97). Mannisenmäen kaukolämpöverkon kannattavuustarkastelu voidaan tehdä 100 % liittymisasteella, sillä alueen kaavoitus määrää jokaisen rakennuksen liitettäväksi kaukolämpöverkkoon.

Mahdollinen skenaario kaukolämpöverkon rakentamisen vaiheistamisesta on taulukossa 14 (Kaukolämmön keventämismahdollisuudet matalan energiankulutuksen alueella. 2014, 30).

Taulukko 14. Kaukolämpöverkon rakentamisen vaiheistus

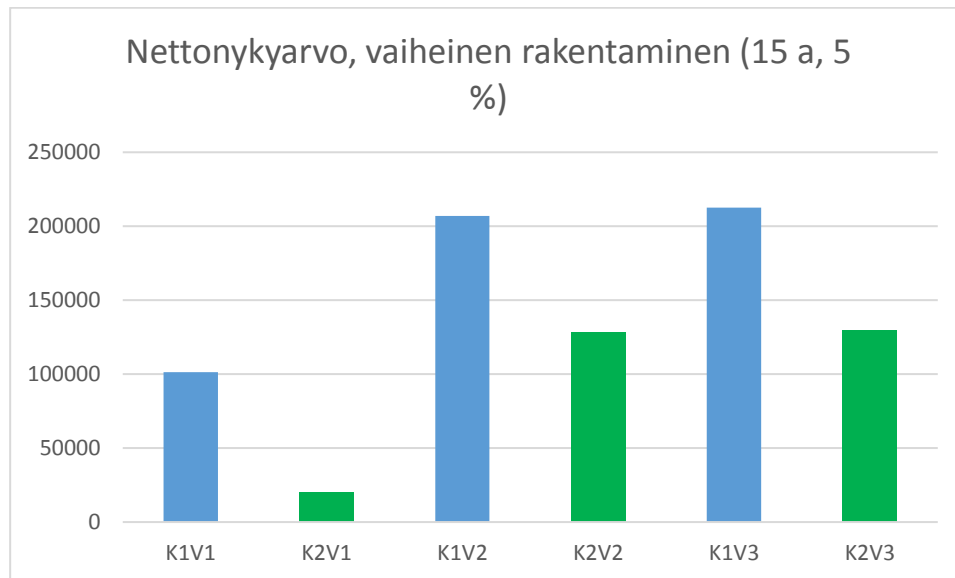
	Investointi	Liittymismaksut	Tulot
1. vuosi	70 %	25 %	25 %
2. vuosi	10 %	25 %	50 %
3. vuosi	10 %	25 %	75 %
4. vuosi	10 %	25 %	100 %
5. vuosi	0 %	100 %	100 %

Vaiheisen rakentamisen takaisinmaksuajan, sekä nettonykyarvon laskemiseksi kehitettiin laskuri (ks. liite 13). Vaiheisella rakentamisella toteutetun kaukolämpöverkon takaisinmaksuaika sekä nettonykyarvot ovat kuvioissa 25, 26 ja 27.

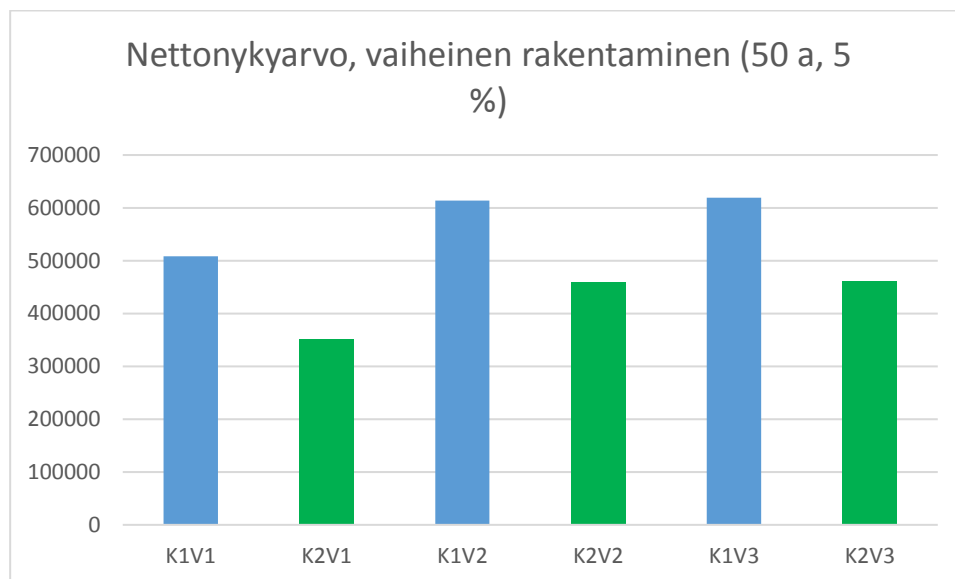


Kuvio 25. Kaukolämpöverkkojen takaisinmaksuajat, vaiheinen rakentaminen

Vaiheinen rakentaminen nosti vähintään verkon V1 takaisinmaksuaikaa kummallakin kulutustasolla, sillä verkkojen takaisinmaksuaika oli ennestään jo suurin. Verkkojen V1 takaisinmaksuaika kummallakin kulutustasolla on yli 6 vuotta, jota voidaan pitää suhteellisen pitkänä takaisinmaksuaikana. Verkkojen V2 ja V3 takaisinmaksuajat kasvoivat yli kolminkertaisiksi vaiheisella rakentamisella. Keskimääräinen takaisinmaksuaika verkoilla V2 ja V3 on hiukan yli 3 vuotta, jota voidaan pitää hyvänä takaisinmaksuaikana.



Kuvio 26. Kaukolämpöverkkojen nettonykyarvot vaiheisella rakentamisella 15 a.



Kuvio 27. Kaukolämpöverkkojen nettonykyarvot vaiheisella rakentamisella 50 a.

Vaiheinen rakentaminen vähensi nettonykyarvoja suhteellisesti eniten lyhyemmällä tarkasteluajanjaksolla. Eniten nettonykyarvo vähentyi verrattuna kerralla rakennettuun kaukolämpöverkkoon verkossa K2V1, joka väheni 15 vuoden tarkasteluajanjaksolla 91 % eli 214653 € ja 50 vuoden tarkasteluajanjaksolla 35 % eli 190899 €.

Euromääräisesti eniten nettonykyarvo vähentyi vaiheisella rakentamisella 15 vuoden tarkasteluajanjaksolla verkon K1V3 kohdalla jossa nettonykyarvo laski arvosta 461772 € arvoon 212587 € jolloin erotukseksi muodostuu 249185 €.

7.3 Kannattavuus asiakkaan kannalta

Kaukolämmön kannattavuutta asiakkaan kannalta tarkasteltiin vertaamalla kaukolämmön kokonaiskustannuksia muihin lämmitystapojen kustannuksiin. Kaukolämmön investointikustannukset asiakkaalle muodostuvat pääosin kaukolämmön lämmönjakokeskuksen investointi ja asennustöistä, sekä kaukolämmön liittymismaksuista (Flyktman 2016).

Eri verkkojen V1 ja V2 lämmönjakokeskukset eroavat toisistaan vain lämmönvaihtimien mitoitusosalta. Verkon V3 lämmönjakokeskuksen lämmityksen lämmönvaihdin on korvattu sekoituspiirillä. Lämmönjakokeskusten tarjoushinnat määritettiin Gebwell Oy:n toimesta. Jokaisessa eri verkon toteuttamisvaihtoehdossa on tarkasteltu kaksipiiristä lämmönjakokeskusta, jossa on oma lämmityspiiri käyttövedelle sekä lämmitykselle.

Verkon V1 rakennusten lämmönjakokeskuksista ei pyydetty erikseen tarkempia mitoituksia ja hinnat perustuvat arvioihin ja ovat täten suuntaa antavia. Verkon V1 korkein hankintahinta pientalon lämmönjakokeskukselle on 2500 € ja keskimääräinen hinta on 2300 € (Suhonen 2016). Kannattavuuslaskelmissa rakennuksen 179-2013-928 lämmönjakokeskuksen hintana käytetään arvoa 2300 € ja rakennuksen 179-2015-1328 lämmönjakokeskuksen hintaa 2500 €.

Verkon V2 lämmönjakokeskuksista pyydettiin tarjoukset mitoituksineen. Lämmönvaihtimet toimivat korkeintaan 80 °C lämpötilassa ja rakennuksissa on lattialämmitys. Tarjoushinnat rakennuksen 179-2013-928 lämmönjakokeskukselle on 2650 € ja rakennuksen 179-2015-1328 lämmönjakokeskukselle 2900 €.

Verkon V3 lämmönjakokeskusratkaisua ei Gebwell Oy:llä ole valmiiksi myytävänä, ja tuote joudutaan erikseen suunnittelemaan. Vaikka kevennetty komponenttimäärä teoriassa mahdollistaisi pienemmät kustannukset, kertyy lämmönjakokeskuksen kokonaiskustannukset suuremmaksi tuotteen kustomoinnin takia. Rakennuksen 179-2013-928 ja 179-2015-1328 lämmönjakokeskuksen hinnaksi kertyisi noin 3500 – 4000

€. (Kantanen 2016.) Kannattavuuslaskelmissa rakennuksen 179-2013-928 lämmönjakokeskuksen hintana käytetään arvoa 3500 € ja rakennuksen 179-2015-1328 lämmönjakokeskuksen hintaa 4000 €.

Kaksipiirisen pientalon lämmönjakokeskuksen asennuskustannuksen hinta on yleisesti noin 2500 €. Hinta arvio pyydettiin Jyväskylän LVI-palvelu Oy:n Arto Kokkoselta (2016). Liittymismaksuna käytetään Jyväskylän Energian uudisrakennuksen liittymismaksuja. Kaukolämmön investointikustannukset asiakkaalle olivat edullisimmat verkossa V1. Investointikustannukset asiakkaalle (alv. 0 %) eri verkostoratkaisuissa on koottu taulukkoon 15.

Taulukko 15. Esimerkkirakennusten kaukolämmön kokonaisinvestointikustannukset, €

	V1	V2	V3
179-2013-928	7013	7363	8213
179-2015-1328	7705	8105	9205

Kaukolämmön kokonaishinta asiakkaalle on muodostettu jakamalla vuodessa kertyneet perusmaksut vuotuisella energiankulutuksella, johon on summattu kaukolämmön energiamaksu. Kokonaishinta kasvaa energiankulutuksen vähentyessä, koska kaukolämmön perusmaksun osuus suurenee. Perusmaksun suuruus on sidottu rakennuksen rakennustilavuuteen. Kokonaishinnat on summattu taulukkoon 16.

Taulukko 16. Esimerkkirakennusten kaukolämmön kokonaishinta, €/MWh

	K1	K2
179-2013-928	85	94
179-2015-1328	84	92

Kilpailukykyisimmät hinnat asiakkaan kannalta ovat verkkoratkaisussa V1. Kokonaiskustannuksiltaan 15 vuoden laskenta-ajanjaksolla taloudellisin lämmitysratkaisu asiakkaalle on maalämpö, kun maalämmön investointikustannukset ovat 15000 € ja sähköenergian hinta 13,8 snt/KWh (Lämmitystapojen vertailulaskuri 2016). Taulukossa 17 on esitetty, kuinka paljon kalliimmat ovat kaukolämmön kokonaiskustannukset verrattuna maalämpöön, kun laskenta-aika on 15 vuotta.

Taulukko 17. Esimerkkirakennusten kaukolämmityksen kustannuserotus maalämpöön verrattuna 15 vuoden aikana, €. Lukuarvot kuvaavat, kuinka paljon kalliimmat ovat kaukolämmön kokonaiskustannukset esimerkkirakennusten lämmitysmuotona verrattuna maalämpöön 15 vuoden aikana.

	179-2013-928		179-2015-1328	
	K1	K2	K1	K2
V1	3803	2393	11605	8980
V2	4153	2743	12005	9380
V3	5003	3593	13105	10480

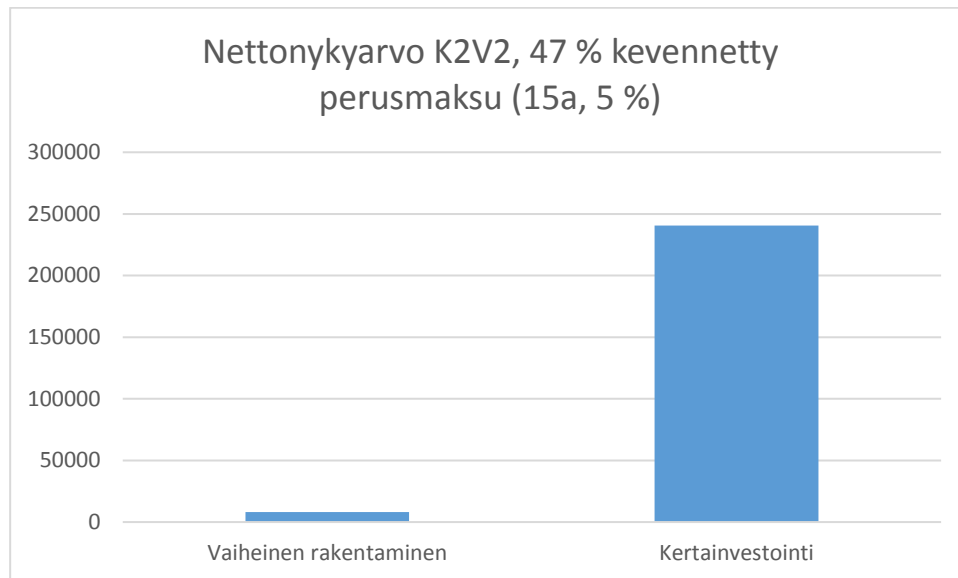
Kaukolämmön kokonaiskustannusten pitäisi olla taulukossa 17 näkyvien kustannusten verran edullisemmat, että kaukolämpö olisi edullisin vaihtoehto asiakkaan kannalta 15 vuoden laskenta-ajalla. Kaukolämpöyhtiön täytyisi keventää taulukon 17 lukuarvojen verran asiakkaiden laskutusta. Laskutuksen keventäminen toisaalta heikentää kaukolämpöverkon kannattavuutta kaukolämpöyhtiön kannalta, ja alennuksen täytyisi olla samankokoinen jokaisen asiakkaan kannalta, että se olisi oikeudenmukainen jokaista asiakasta kohti.

Kaukolämmön kannattavuutta asiakkaan kannalta pyrittiin parantamaan vähentämällä kaukolämmön perusmaksuja. Tarvittavat perusmaksun prosentuaaliset alennukset ovat koottu taulukkoon 18.

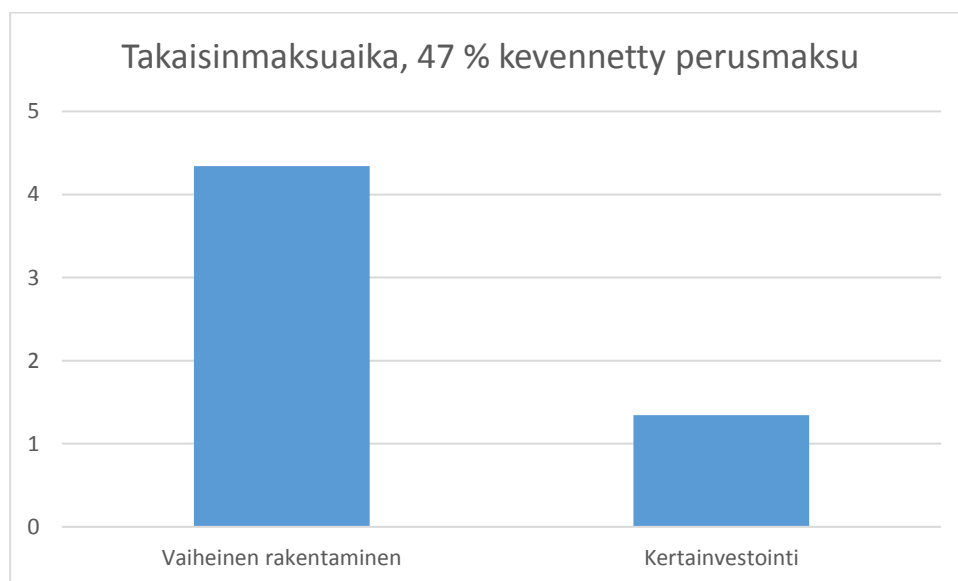
Taulukko 18. Perusmaksujen prosentuaalinen alennus. Prosenttiluku kuvaa, kuinka paljon kuukausittaista perusmaksua tulisi keventää kullakin kulutustasolla ja asiakkaan kaukolämpölaitteiden toteutustavalla, että kaukolämmöstä tulisi kannattavin lämmitysmuoto asiakkaan kannalta.

	179-2013-928		179-2015-1328	
	K1	K2	K1	K2
V1	66 %	41 %	127 %	99 %
V2	72 %	47 %	132 %	103 %
V3	86 %	62 %	144 %	115 %

Ainoastaan verkon V2K2 kohdalla oleva 47 %:n vähennys perusmaksuissa pysyi kaukolämpöyrityksen kannalta kannattava vaihtoehtona, kun kyseessä on kaukolämpöverkon kertainvestointi tai vaiheinen rakentaminen. Tällöin kaukolämpö on rakennuksen 179-2013-928 kohdalla 363 € maalämpöä edullisempi ja rakennuksen 179-2015-1328 kohdalla 4258 € maalämpöä kalliimpi lämmitysmuoto. Verkon V2K2 takaisinmaksuajat, sekä nettonykyarvot 47 % pienemmillä perusmaksuilla kertainvestointina ja vaiheisena rakentamisena näkyvät kuvioissa 28 ja 29.



Kuvio 28. Kaukolämpöverkon K2V2 nettonykyarvot kevennetyllä perusmaksulla



Kuvio 29. Kaukolämpöverkon K2V2 takaisinmaksuaika kevennetyllä perusmaksulla

8 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, onko kaukolämmön jakelu kannattavaa energiatehokkaalla pientaloalueella kaukolämpöyhtiön kannalta ja onko kaukolämpö kan-

nattava lämmitysmuoto energiatehokkaassa pientalossa kuluttajan kannalta. Kannattavuustarkastelun tuli sisältää perinteisellä tekniikalla toteutetun kaukolämpöjärjestelmän kannattavuustarkastelu sekä kaksi kustannustehokkuuteen pyrkivän kaukolämpöjärjestelmän kannattavuustarkastelut.

Tavoitteita voidaan pitää onnistuneena, sillä opinnäytetyössä vertailtiin kolmea tekniseltä toteutukseltaan erilaisen kaukolämpöverkon ja asiakkaan kaukolämpölaitteiden kannattavuutta. Vertailun mahdollistamiseksi luotiin teoriaosio kunkin toteutusvaihtoehdon keskeisimmistä teknisistä ominaisuuksista. Lisäksi teoriaosiossa selostettiin pientalojen lämpöenergian tarpeen vähentymiseen vaikuttavat keskeisimmät energiatehokkuusmääräykset.

Tulosten pohjalta matalalämpöverkko vaikuttaa lupaavalta vaihtoehdolta energiatehokkaalla pientaloalueella. Mikäli kaukolämpöverkkoa laajentaessa pientaloalueelle joudutaan rakentamaan paineenkorotusasema, paranee matalalämpöverkon kilpailukyky entisestään, sillä lämmönsiirrinasema voitaisiin rakentaa paineenkorotusase-
man sijasta.

Asiakkaan kannalta kannattavin lämmitysvaihtoehto esimerkkirakennuksissa on maa-
lämpö johtuen sen edullisista käyttökustannuksista. Asiakkaalle suoraan edullisempaa lämmönjakokeskusratkaisua ei onnistuttu määrittämään, mutta matalalämpötilaverkon edulliset investointikustannukset mahdollistavat osittain kilpailukykyisemmän hinnoittelun.

Asiakkaan kannalta edullisin lämmönjakokeskusratkaisu oli tavanomaisessa kaukolämpöverkossa käytettävä lämmönjakokeskus, mutta matalalämpöverkossa V2 käytettävä lämmönjakokeskus ei ollut juurikaan normaalia lämmönjakokeskusta kalliimpi. Kallein vaihtoehto kuluttajan kannalta oli rakennuksen lämmitysjärjestelmän suorakytkennällä toteutettu lämmönjakokeskus johtuen sen korkeasta hinnasta.

Huomioitavaa tuloksissa on, että matalalämpötilaverkon materiaalikustannukset olivat tavanomaista teräsputkiverkkoa kalliimmat. Edullisemmat kokonaiskustannukset ovat riippuvaisia matalalämpöverkon rakentamisen edullisista työkustannuksista, joiden suuruus perustuu arvioon. Lisäksi matalalämpöverkossa mahdollisesti tarvittavia ohitusventtiileitä ja niiden aiheuttamia lämpöhäviökustannuksia ei ole otettu kustannuslaskelmissa huomioon.

Matalalämpöverkot V2 ja V3 olivat investointikustannuksiltaan noin 37 – 39 % teräsputkilla toteutettua verkkoa V1 edullisemmat. Tampereen Paneliassa toteutetun aluelämpövoimalan kaukolämpöverkko on toteutettu taipuisilla muoviputkilla ja verkon investointikustannukset on arvioitu olevan 40 -50 % tavanomaista teräsputkilla toteutettua verkkoa edullisemmat (Lavento 2013, 1). Opinnäytetyön tulokset ovat suuruusluokaltaan samat verrattuna Paneliassa toteutuneen kaukolämpöverkon kustannussäästöihin.

Pöyryn vuonna 2014 tekemä kaukolämpöverkkojen kannattavuustarkastelun tulokset ovat hyvin linjassa tämän opinnäytetyön tulosten kanssa. Suurin ero Pöyryn tuloksissa oli, että perinteinen teräsputkilla toteutettu kaukolämpöverkko oli muoviputkilla ja lämmönvaihdinasemalla toteutettua matalalämpötilaverkkoa noin 116 000 € edullisempi vaihtoehto, kun teräsputkiverkon kokonaisinvestointikustannukset olivat noin 110 000 €. Tässä opinnäytetyössä investointisäästöt matalalämpötilaverkon ja teräsputkiverkon välillä muodostuivat matalalämpötilaverkon edullisista maanrakennus- ja putkiliitostekustannuksista. Pöyryn kannattavuustarkastelussa kyseisiä työkuustannuksia ei ole eritelty, joten vertailua ei voida arvojen välillä tehdä. Kumminkin Pöyryn kannattavuustarkastelun asuinalueen pinta-ala oli pienempi, eikä siirtoetäisyydet ole niin pitkiä, jolloin muoviputkien asennustyötä nopeuttavat hyödyt jäävät pienemmiksi. Lisäksi Pöyryn kannattavuustarkastelussa lämmönsiirrinaseman hintana oli käytetty arvoa 100 000 € ja tässä opinnäytetyössä käytetty arvo oli noin 50 000 €.

Opinnäytetyön tuloksia pystytään tarkentamaan ja laajentamaan muutamilla toimenpiteillä. Esimerkkirakennusten energian- ja tehontarve voidaan laskea kuukausikohdaisesti rakentamismääräyskokoelman kohdan D5 avulla. Kuukausittaisen tehon ja energiantarpeen avulla pystytään muodostamaan joka kuukauden keskimääräinen kaukolämpöveden menolämpötila, jonka avulla voidaan arvioida pumppauskustannuksia sekä tarkentaa lämpöhäviölaskelmia. Kaukolämpöverkon kannattavuudelle voisi tehdä herkkyystarkastelun tekemällä uudet laskelmat pienemmällä, esimerkiksi 50 % liittymisasteella. Materiaalikustannukset voitaisiin laskea useamman eri valmistajan hinnoilla sekä maanrakennus- ja putkiliitostöiden kustannusarvioita tulisi tiedustella useammasta eri lähteestä. Myös lämmönvaihdinaseman toteutuksesta voitaisiin pyytää kokonaisurakkatarjous.

Jatkotutkimuksena matalalämpötilaverkon koko pitäisi optimoida siten, että hyödyt tavanomaiseen teräspankiverkkoon olisivat maksimaaliset. Nykyisissä laskelmissa Mannisenmäen matalalämpötilaverkon suurimmat putket ovat jouduttu toteuttamaan erillisinä meno- ja paluuputkina jotka ovat lämpöhäviö- ja investointikustannuksiltaan kalliimmat verrattuna putkeen, jossa meno- ja paluuputki ovat saman suojakuoren sisällä.

Lähteet

A 30.3.2012. Asetus rakennusten energiatehokkuudesta, määräykset ja ohjeet 2012. 2011. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta 30.3.2011. Viitattu 2.9.2016. http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf

Benet - tehtävänä uusiutuva energia ja energiatehokkuus. 2015. Benet Oy kotisivut 29.4.2016. Viitattu 29.4.2016. <http://www.benet.fi/www.benet.fi>

District Heating and Cooling Connection Handbook N.d. International Energy Agency käsikirja kaukolämpitteisten ja kaukojäähdytettujen talojen kytkennöistä. PDF. Viitattu 19.12.2016. <http://www.districtenergy.org/assets/CDEA/Best-Practice/IEA-District-Heating-and-Cooling-Connection-Handbook.pdf>

Fact Sheet. 2016. Danfoss, lämmönjakokeskusten valmistaja. Tekninen esite suora-kytkennällä varustetusta lämmönjakokeskuksesta. PDF. Viitattu 19.12.2016. http://heating.danfoss.com/PCMPDF/VCLBD302_Termix-VMTD-MIX-B_1603_hires.pdf

Guidelines for low temperature district heating. 2014. Tanskalainen tutkimusraportti matalalämpötilaverkoista. PDF. Viitattu 19.12.2016. https://setis.ec.europa.eu/energy-research/sites/default/files/project/docs/Guidelines%20for%20LTDH-final_rev1.pdf

Hagström, M. Vanhanen, J. Vehviläinen, I. 2009. Kevennetty kaukolämpötekniikka. Gaia Consulting Oy. PDF. Viitattu 19.12.2016. http://www.skaftkärr.fi/doku/kevennetty_kaukolampotekniikka_loppuraportti_2009.pdf

Isometsä, J. N.d. Energiantuotannon ja -käytön kustannukset. PDF. Energiatalouskurssin materiaali (syksy 2012). Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Isometsä, J. N.d. Energiatehokkuus. PDF. Energiatalous-kurssin materiaali (syksy 2012). Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Johtokartta. N.d. Johtokartta. Jyväskylän Energia. Viitattu 20.12.2016.

http://arc.jenergia.fi/johtokartta/?_ga=1.201931985.199549144.1459243470

Jyväskylän karttapalvelu. N.d. Mannisenmäen asemakaava ja lisätiedot. Viitattu 20.12.2016.

http://kartta.jkl.fi/IMS/fi?layers=Asemakaavakartta&loff=Vireill%C3%A4%20olevat%20asemakaavat&loff=Anomusvaiheessa%20olevat%20asemakaavat&cp=14628,35173&z=1&title=Ajantasa_aseamakaava&language=fin

Kaarina, J. 2016. Jyväskylän kaavoituksen asiakaspalvelu. Palvelupiste Hannikainen. Haastattelu 1.11.2016

Kantanen, K. 2016. Tekninen myyjä. Gebwell Oy. Sähköposti 16.12.2016.

Kauko, K. N.d. Harjoitustehtävä 7. Viitattu 20.12.2016. <http://docplayer.fi/482182-Ratkaisu-a-koroton-takaisinmaksuaika-on-9000-7-5-vuotta-1200-b-kun-vuosituotot-pysyvät-vakiona-korollinen-takaisinmaksuaika-maaraytyy.html>

Kaukolämmön asema Suomen energiajärjestelmässä tulevaisuudessa. 2011. Pöyry 26.8.2011. Viitattu. 20.5.2016. http://energia.fi/sites/default/files/kaukolammon_asema_suomen_energiajarjestelmassa_tulevaisuudessa_poyrypdf.pdf

Kaukolämmön hinnasto. 2016. Jyväskylän Energia. Viitattu 20.12.2016. http://www.jyvaskylanenergia.fi/filebank/1728-JE_kaukola%CC%88mmo%CC%88n_hinnasto_yksityisasiakkaat.pdf

Kaukolämmön keventämismahdollisuudet matalan energiankulutuksen alueella. 2014. Pöyry Finland Oy. Tutkimusraportti. Viitattu 20.12.2016. <http://docplayer.fi/9068390-Raportti-16enn0271-e0001-toukokuu-2014.html>

Kaukolämpötilasto 2015. 2015. Energiateollisuus ry. Viitattu 7.12.2016. http://energia.fi/files/1184/Kaukolampotilasto_2015.pdf

Kaukolämpöverkko. N.d. Energiateollisuus ry. Viitattu 2.9.2016. <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys/kaukolampoverkko>

Kauppinen. 2016. Projektipäällikkö. Jyväskylän Vesi ja Lämpö Oy. Haastattelu 12.12.2016.

Keski-Suomen Energiatoimisto. 2015. Benet Oy kotisivut 3.3.2009. Viitattu 28.4.2016. <http://www.benet.fi/Keski-Suomen%20Energiatoimisto>

Kokkonen. 2016. Jyväskylän LVI-palvelu Oy. Haastattelu 17.11.2016.

Koskelainen, L., Saarela, R. & Sipilä, K. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki. Libris Oy.

Lausuntopyyntö luonnoksista ympäristöministeriön asetuksiksi. 2016. Ympäristöministeriö. Viivattu 24.1.2017. http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Lausuntopyynnot_ja_lausuntoyhteenvedot/2016/Lausuntopyynto_luonnoksista_ymparistomin%2840554%29

Lavento, D. 2013. Lähienergiaa ekologisesti. Talotekniikan artikkeli Panelian aluelämpöverkosta. Viitattu 8.1.2017. http://www.rauheat.fi/ajankohtaista_7.html

Liittymismaksu. 2014. Fortum kotisivut. Viitattu 5.9.2016. <http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/kaukolampo/liity-asiakkaaksi/liittymismaksu/pages/default.aspx>

Logstor Calculator. 2016. Mitoitusohjelma. Logstor. Eristettyjen kaukolämpöjohtojen valmistaja. Viitattu 20.12.2016. <https://www.logstor.com/fi/tietoa-yhtioestae/konserni-lyhyesti>

Lämmitystapojen vertailulaskuri. N.d. Viitattu 20.12.2016. <http://lammitysvertailu.eneuvonta.fi/>

Matalaenergiatalo. 2016. Energiatohkeas koti. Viitattu 20.12.2016. http://www.energiatohkeaskoti.fi/perustietoa/hyva_tietaa/matalaenergiatalo

Mustonen. 2016. Jyväskylän rakennusvalvonnan asiakaspalvelu. Haastattelu 2.11.2016

Mäkelä, V. Tuunanen, J. 2015. Suomalainen kaukolämpö. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Viitattu 19.12.2016. <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf?sequence=1>

Pientalojen lämmitystapojen vertailulaskuri. 2016. Motiva. Viitattu 20.12.2016. <http://www.motiva.fi/lammitysvertailu>

Pientalon lämmitysjärjestelmät. 2012. Motiva. PDF. Viitattu 24.5.2016. http://www.motiva.fi/files/7201/Pientalon_lammitysjarjestelmat_2012.pdf

Plate Heat Exchangers. 2009. Viitattu 19.12.2016. <http://www.technoserviceco.com/gasket.htm>

Prosessiteknikka. 2011. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. IIA1040 luennot. PDF. Viitattu 20.12.2016.

Raatikainen. 2016. Aluemyyntipäällikkö. Brugg-Pema Oy. Haastattelu 23.11.2016.

Raatikainen. 2016. Aluemyyntipäällikkö. Brugg-Pema Oy. Sähköposti 23.11.2016.

Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2013. pdf. Suomen rakentamismääräyskokoelma kohta D5.

Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet. 2014. Fortum. PDF. Viitattu 19.12.2016. https://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Kaukolampo/julkaisuk1_2013_20140331.pdf

Rauma, A. 2016. Tehdaspäällikkö. Oy Esari AB. Sähköposti 16.12.2016.

Simpura. 2016. Verkostoinsinööri. Jyväskylän Energia Oy. Sähköposti 11.11.2016.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2016. Ympäristöministeriö. Viitattu 2.9.2016. http://www.ym.fi/fi-fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/rakentamismaarayskokoelma

Suutarinen, J. 2016. Kaivurityö Jukka Suutarinen. Haastattelu 14.12.2016.

Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina. 2014. Suositus. PDF. Energiateollisuus. Viitattu 19.12.2016. http://energia.fi/files/586/Teho_ja_vesivirta_SuositusK15_2014.pdf

Tulevaisuuden kaukolämpöasuinalueen energiaratkaisut. 2014. Energiateollisuus 21.10.2014. http://energia.fi/sites/default/files/tulevaisuudenkl-ratkaisut_t187_2014_vtt.pdf

Tuominiemi, J. 2016. Maajukka Oy. Haastattelu 25.11.2016.

Uusista rakennuksista lähes nollaenergiarakennuksia. 2016. Ympäristöministeriö. Viitattu 24.1.2017. http://www.ym.fi/fi-fi/Ajankohtaista/Tiedotteet/Uusista_rakennuksista_lahes_nollaenergia%2840678%29

Vilkkilä, T. 2016. Toiminnanjohtaja. Saarijärven kaukolämpö Oy. Haastattelu 15.12.2016.

Liitteet

Liite 1. Rakennukset joita energiatehokkuusvaatimukset eivät koske (A 30.3.2012/3.)

Nämä määräykset eivät kuitenkaan koske seuraavia rakennuksia:

a) tuotantorakennus, jossa tuotantoprosessi luovuttaa niin suuren määrän lämpöenergiaa, että halutun huonelämpötilan aikaansaamiseen ei tarvita ollenkaan tai tarvitaan vain vähäisessä määrin muuta lämmitysenergiaa tai tuotantotila, jossa lämmityskauden ulkopuolella runsas lämmöneristys nostaisi haitallisesti huonelämpötilaa tai lisäisi oleellisesti jäähdytysenergian kulutusta,

b) rakennus, jonka lämmitetty netto-ala on enintään 50 m²,

c) muut kuin asuinkäyttöön tarkoitetut maatalousrakennukset, joissa energiankäyttö on vähäinen,

d) kasvihuone, väestönsuoja tai muu rakennus, jonka käyttö tarkoitukseensa vaikeutuisi kohtuuttomasti näitä määräyksiä noudatettaessa.

e) loma-asunto, johon ei ole suunniteltu kokovuotiseen käyttöön tarkoitettua lämmitysjärjestelmää.

f) määräajan paikallaan pysytettävä siirtokelpoinen rakennus (*määräaikainen rakennus*), joka on valmistettu ennen näiden määräyksien voimaantuloa ja jonka käyttötarkoitus ei oleellisesti muutu. Tällaisia rakennuksia voivat olla esimerkiksi väliaikaiseen käyttöön tarkoitetut koulu- ja päiväkotirakennukset.

1.1.4

Loma-asuntoa, johon on suunniteltu kokovuotiseen käyttöön tarkoitettu lämmitysjärjestelmä, mutta jota ei ole tarkoitettu majoituselinkeinonharjoittamiseen, koskevat vain kohdan 2.10 määräykset.

1.1.5

Määräaikaista rakennusta koskevat vain kohdan 2.9 määräykset.

Liite 2. Rakennuksen lämpöhäviöiden vertailuarvot (A 30.3.2012/13.)

Rakennuksen vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään seuraavia rakennusosakohtaisia lämmönläpäisykertoimia ja ikkunapinta-alan vertailuarvoa.

Lämpimän, erityisen lämpimän tai jäähdytettävän kylmän tilan rakennusosien lämmönläpäisykertoimina U käytetään seuraavia vertailuarvoja laskettaessa rakennuksen vaipan lämpöhäviön vertailuarvoa:

seinä	0,17 W/(m ² K)
hirsiseinä (hirsirakenteen keskimääräinen paksuus vähintään 180 mm)	0,40 W/(m ² K)
yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09 W/(m ² K)
ryömintätilaan rajoittuva alapohja (tuuletusaukkojen määrä enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta)	0,17 W/(m ² K)
maata vasten oleva rakennusosa	0,16 W/(m ² K)
ikkuna, kattoikkuna, ovi, kattovalokupu, savunpoisto- ja uloskäyntiluukku	1,0 W/(m ² K)

Puolilämpimän tilan rakennusosien lämmönläpäisykertoimina U käytetään seuraavia vertailuarvoja laskettaessa rakennuksen vaipan lämpöhäviön vertailuarvoa:

seinä	0,26 W/(m ² K)
hirsiseinä (hirsirakenteen keskimääräinen paksuus vähintään 180 mm)	0,60 W/(m ² K)
yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,14 W/(m ² K)
ryömintätilaan rajoittuva alapohja (tuuletusaukkojen määrä enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta)	0,26 W/(m ² K)
maata vasten oleva rakennusosa	0,24 W/(m ² K)
ikkuna, kattoikkuna, ovi, kattovalokupu, savunpoisto- ja uloskäyntiluukku	1,4 W/(m ² K)

Rakennuksen yhteenlasketun ikkunapinta-alan vertailuarvo on 15 % rakennuksen kokonaan tai osittain maanpäällisten kerrosten kerrostasojen summasta, mutta kuitenkin enintään 50 % rakennuksen julkisivupinta-alasta. Ikkunan pinta-ala lasketaan kehän ulkomittojen mukaan.

Selostus

Asuinhuoneen luonnonvalon saannista sekä ikkunan valoaukon vähimmäiskoosta on säännökset rakentamismääräyskokoelman osassa G1.

Liite 3. Rakennuksen 179-2015-1328 rakennusmitat

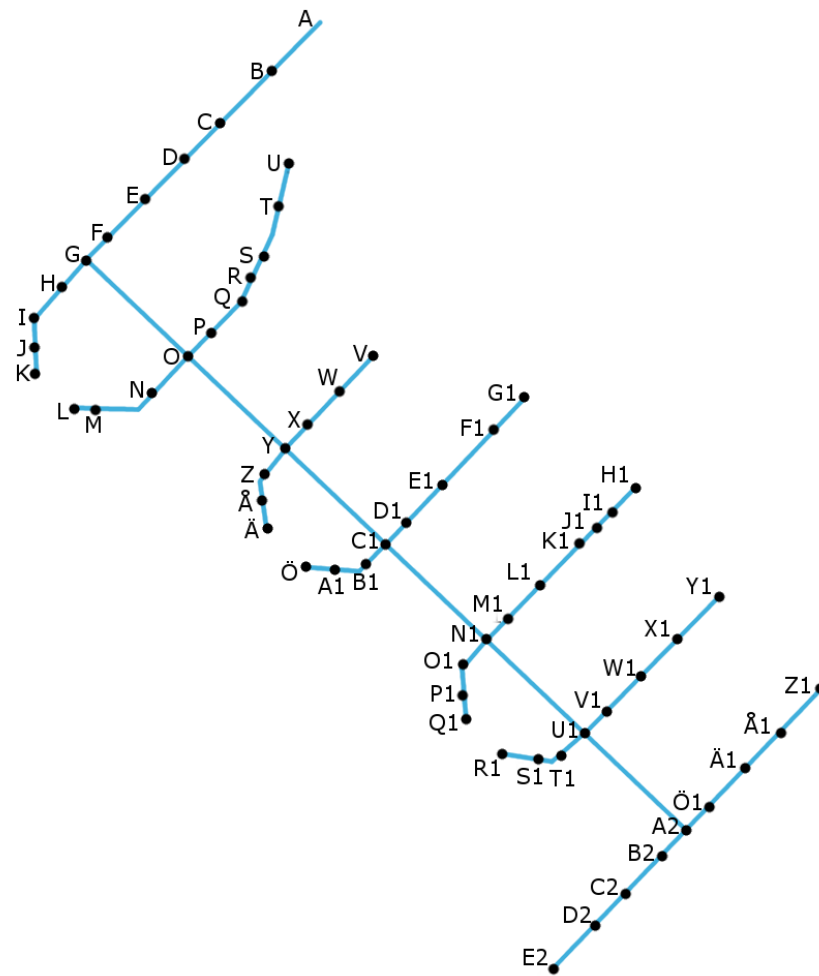
Päättiedot

Rakennuskohde:	Paritalo
Osoite 1:	Teljintie 20
Osoite 2:	40530 JYVÄSKYLÄ
Todistustunnus:	03112015-1
Kiinteistötunnus:	26-25-1
Rakennustunnus:	
Rakennusluvan hakemisvuosi:	2015
Valmistumisvuosi:	2015
Rakennuksen käyttötarkoitus:	Kahden asunnon talot
Pääsuunnittelija:	Olli Aitto-oja
Laskelman tekijä:	Olli Aitto-oja
Yritys:	OA-Rakennustoimisto Oy
Tilaaaja:	Antti Sallinen
Päiväys:	3.11.2015
Sijainti/paikkakunta:	Jyväskylä=3
Rakennusluokka:	1 Pientalo
Kerroslukumäärä:	2
Rakennustilavuus (m ³):	870
Rakennuksen ilmatilavuus (m ³):	610
Maanpäällinen kerrostasoala (m ²):	248
Lämmitetty nettoala Anetto (m ²):	214
Lämpökapasiteetti Crak omin (Wh/m ² K):	70
Ulkopuolisen tilan lämpötila:	17.0 astetta
Asuntojen lukumäärä:	2
Laskentamallin tila:	Lupa haettu

Liite 4. Rakennuksen 179-2013-982 rakennusmitat

Pää tiedot	
Rakennuskohde:	OKT Jyväskylän messutalo
Osoite 1:	Rekoolikatu 11
Osoite 2:	40520 Jyväskylä
Todistustunnus:	
Rakennustunnus:	Äijälänranta-215-10
Rakennusluvan hakemisvuosi:	2013
Valmistumisvuosi:	2014
Rakennuksen käyttötarkoitus:	Pientalo
Pääsuunnittelija:	
Laskelman tekijä:	Heikki Virkkunen
Yritys:	Insinööritoimisto Vesitaito Oy
Tilaaaja:	Kannustalo Oy
Päiväys:	25.04.2014
Sijainti/paikkakunta:	Jyväskylä=3
Rakennusluokka:	1 Pientalo
Kerroslukumäärä:	1
Rakennustilavuus (m³):	540
Rakennuksen ilmatilavuus (m³):	361
Maanpäällinen kerrostasoala (m²):	146
Lämmitetty nettoala Anetto (m²):	129
Lämpökapasiteetti Crak omin (Wh/m²K):	40
Asuntojen lukumäärä:	1
Laskentamallin tila:	Ei tiedossa

Liite 5. Mannisenmäen kaukolämpöverkon solmupisteet



Liite 6. Mannisenmäen kaukolämpöverkon solmupisteiden väliset etäisyydet

Solmupisteiden väliset etäisyydet [m]							
A-B	35	A1-B1	15	Ä1-Ö1	30		
B-C	40	B1-C1	15	Ö1-A2	25		
C-D	25	C1-D1	20	A2-B2	25		
D-E	25	D1-E1	20	B2-C2	20		
E-F	25	E1-F1	25	C2-D2	20		
F-G	20	F1-G1	40	D2-E2	25		
G-H	20	G1-H1	20	E2-F2	25		
H-I	20	I1-J1	15	F2-G2	30		
I-J	15	J1-K1	15				
J-K	15	K1-L1	10	G-O	70		
L-M	20	L1-M1	25	O-Z	71		
M-N	25	M1-N1	25	Z-D1	71		
N-O	25	N1-O1	20	D1-O1	71		
O-P	20	O1-P1	20	O1-V1	71		
P-Q	25	P1-Q1	15	V1-C2	71		
Q-R	15	Q1-R1	15				
R-S	10	S1-T1	15				
S-T	25	T1-U1	15				
T-U	20	U1-V1	20				
V-X	25	V1-X1	20				
X-Y	25	X1-Y1	25				
Y-Z	20	Y1-Z1	25				
Z-Å	20	Z1-Å1	30				
Å-Ä	15						
Ä-Ö	15						
Talojohtojen pituus [m] (keskiarvo)							
	20						

Liite 7. Mannisenmäen runkojohtojen mitoitusvahot

	Rakennusten lukumäärä 179-2013-928	Rakennusten lukumäärä 179-2015-1328	Mitoitusvahot K1 [kW]	Mitoitusvahot K2 [kW]
Z1-A2	8	0	102	84
E2-A2	7	0	89	73
A2-U1	15	0	191	157
U1-Y1	8	0	102	84
R1-U1	3	0	38	31
U1-N1	26	0	332	273
H1-N1	8	0	102	84
Q1-N1	3	1	60	49
N1-C1	37	1	493	405
G1-C1	8	0	102	84
Ö-C1	3	0	38	31
C1-Y	48	1	634	521
Y-V	6	0	77	63
Y-Ä	3	1	60	49
Y-O	57	2	770	633
O-U	8	0	102	84
O-L	3	1	60	49
O-G	68	3	931	765
G-K	4	1	72	59
G-F	72	4	1004	825
F-E	74	4	1029	846
E-D	76	4	1055	867
D-C	77	4	1067	877
C-B	78	4	1080	888
B-A	79	4	1093	898

Liite 8. Logstor Calculator (Logstor Calculator 2016)

Temperatures

Flow [°C] 115

Return [°C] 33

System

Type of system

Pair(eq.)

Select Dimension

Yes

Parameters

Pressure drop, given in

kPa

Flow

No

Media material

Water

Calculate

Add section

Delete section

Sektioner

smaller Dimensions	Section	Length Channel [m]	Energy demand [kW]	Criteria [Pa/m]	Criteria [m/s]	PipeSystem	Dimension (d1) [mm]	Dimension (d2) [mm]	Press. grad. (flow/return) [Pa/m]	Velocity (flow/return) [m/s]	Mass flow (flow/return) [kg/s]	Press. loss (flow/return) [kPa]
No	talo	20	10	20	1.4	SteelFlex	28	28	4 / 5	0.07 / 0.07	0.03 / 0.03	0.17
No	Z1-A1	30	21	10	1.4	Steel	40	40	1 / 1	0.04 / 0.04	0.06 / 0.06	0.06
No	A1-A1	25	42	10	1.4	Steel	40	40	3 / 4	0.09 / 0.09	0.12 / 0.12	0.16
No	A1-O1	25	63	10	1.4	Steel	40	40	6 / 7	0.13 / 0.13	0.18 / 0.18	0.32
No	O1-A2	20	84	10	1.4	Steel	40	40	10 / 12	0.18 / 0.18	0.24 / 0.25	0.44
No	A2-U1	71	15	10	1.4	Steel	40	40	32 / 38	0.33 / 0.33	0.45 / 0.46	4.98
No	U1-N1	71	27	10	1.4	Steel	50	50	28 / 33	0.36 / 0.36	0.79 / 0.8	4.32
No	N1-C1	71	40	10	1.4	Steel	50	50	60 / 69	0.53 / 0.53	1.17 / 1.18	9.14
No	C1-Y	71	52	10	1.4	Steel	65	65	26 / 31	0.41 / 0.41	1.5 / 1.52	4.05
No	Y-O	71	63	10	1.4	Steel	65	65	38 / 45	0.5 / 0.5	1.82 / 1.85	5.88
No	O-G	70	76	10	1.4	Steel	65	65	55 / 64	0.6 / 0.6	2.2 / 2.23	8.32
No	G-F	20	82	10	1.4	Steel	65	65	64 / 73	0.65 / 0.65	2.38 / 2.41	2.74
No	F-E	25	84	10	1.4	Steel	65	65	67 / 77	0.66 / 0.66	2.44 / 2.47	3.6
No	ED	25	86	10	1.4	Steel	65	65	71 / 81	0.68 / 0.68	2.5 / 2.53	3.78
No	D-C	25	87	10	1.4	Steel	65	65	72 / 82	0.69 / 0.69	2.52 / 2.56	3.86
No	C-B	40	88	10	1.4	Steel	65	65	74 / 84	0.7 / 0.7	2.56 / 2.59	6.32
No	B-A	35	89	10	1.4	Steel	65	65	76 / 86	0.7 / 0.7	2.59 / 2.62	5.65

Liite 9. Brugg Pema Oy:n lämpöjohtojen ja liitosten kustannuslaskuri

Hinnasto BRUGG PEMA									
putkikoko [mm] (ulkohalkaisija)	Calpex €/m	Eriste T-haara €/kpl	L-eristeet €/kpl	T-liitin €/kpl	L-liitin €/kpl	Haarotuskaivo €/kpl			
2x25 (91)	16,8	105	105	96	29	19			
2x32 (111)	20,6	103	103	93	34	22			
2x40 (126)	24,4	199	199	156	64	40			
2x50 (162)	36,5	190	190	150	86	54			
2x63 (182)	51	186	186	146	120	74			
75 (142)	34,4	193	193	154	236	139			
90 (162)	40,9	190	190	150	325	218	590		
KIV2 materiaali									
putkikoko [mm] (ulkohalkaisija)	Putkikustannukset	T-eristeet	L-eristeet	T-liittimet	L-liittimet	Kaivot	Summa	€/m	
2x25 (91)	27888								
2x32 (111)	21424	2369	651	4284	308		29036		
2x40 (126)	0	0	0	0	0		0		
2x50 (162)	2591,5	190	0	172	0		2954		
2x63 (182)	7242	0	0	960	0		8202		
75 (142)	14585,6	0	0	2832	0		17418		
90 (162)	13906	1520	0	5200	0	15930	36556		
	87637,1	4079	651	13448	308	15930	122053	37	

Liite 10. Saarijärven kaukolämmön paineenkorotusasema



Liite 11. Lämmönsiirrinaseman kustannuslaskemat

Kevytperusteinen, 300mm kantava kerros, salaojitettu perustus				
Laitesuojan koko	20,4 m ²			
Kaivuu ylittää 1,5m laitesuojan reunan	44,1 m ²			
Salaojituserros	0,3 m	8-16mm murske		
Eristyserros	0,1 m	finfoam		
murske	0,3 m	sepeli		
Kaivuusyvyys	0,7 m			
Materiaalit				
Sepeli 8-16mm	16,5 €/m ³	218	248 €	
Murske 0-32mm	12,25 €/m ³	162	184 €	
Eriste EPS300	7,96 €/m ²	702	€	
Salaoja 110	12,5 €/kpl	63	€	
kaivot	28 €/kpl	112	€	
purkutupki	15,5 €/kpl	31	€	
miestyö				
kone	8 h			
auto	4 h			
miestyö	30 €/h	240	€	
kone	75 €/h	600	€	
auto	75 €/h	300	€	
alv 0%	2479 €			
alv 24%	3074 €			
Laitetila				
Sähköliittymä 3x25A	20000 €			
	1796 €			
Lämmönsiirrinaseman laitetilat, sähkö ja maanrakennus				
	24275 €			
Lämmönsiirrinaseman asennuskustannus 5000-10000€				
Lämmönsiirrin K1	10000 €			
Lämmönsiirrin K2	12500 €			
	12340 €			
Lämmönsiirrinasema kokonaiskustannus K1, alv 0%				
	46775 €			
Lämmönsiirrinasema kokonaiskustannus K2, alv 0%				
	46615 €			

Liite 12. Lämpöhäviöiden laskentapohja

Mpuk					
Lämpöhäviö (menovesi 85 astetta, paluuvesi 45 astetta)					
		K1V1	K2V1		
DN	W/m	W	W		
20	9,12				
25	9,73				
32	10,65				
40	12,09	13436,77	13436,77		
50	11,86	1684,664	1684,664		
65	13,43	2846,196	5128,523		
80	14,30	2430,246	0		
100	14,20				
125	13,80				
150	15,57				
200	16,04				
Lähde: ET:n laskentataulukot					
JOP (joustopuki)					
Lämpöhäviö (menovesi 85 astetta, paluuvesi 45 astetta)					
Teräsputken ulkohalkaisija 28 mm, seinäpaksuus 2 mm					
	W/m	m	W		
JOP 28/90	n. 13,2	1660	21912		
Lähde: ET:n laskentataulukot					
		K1V2	K2V2	K1V3	K2V3
Calpex	W/m	W	W	W	W
2x25 (91)	8,04	13346	13346	13346	13346
2x32 (111)	8,23	8559	8559	8559	8559
2x40 (126)	9,49	0	674	0	674
2x50 (162)	8,79	624	624	624	624
2x63 (182)	10,71	1521	2281	3042	3031
75 (142)	8,59	3642	4123	4123	2921
90 (162)	9,29	3159			
8760 Tuntia vuodessa					
30 Lämmön hinta lämmön myyjälle [€/MWh]					
K1V1	K2V1	K1V2	K2V2	K1V3	K2V3
42	42	31	30	30	29 kW
371	369	270	259	260	255 Lämpöhäviöt vuodessa [MWh]
11119	11080	8108	7781	7804	7662 Lämpöhäviökustannukset vuodessa [€]

Liite 13. Vaiheisen rakentamisen kannattavuuslaskelmat

Vaiheinen rakentaminen		K1V1	K2V1	K1V2	K2V2	K1V3	K2V3
Vuosi 1, K1							
Investoinnit 70 %	0,7	252274	248085	159952	153452	155006	152255
Liittymismaksut 25 %	0,25	46410	46410	46410	46410	46410	46410
Investointi - liittymismaksu		205864	201675	113542	107043	108596	105846
Laina korkoineen 5 %		216157	211759	119219	112395	114026	111138
Vuosituotot 25 %, netto	0,25	8862	6602	8862	6602	8862	6602
Laina vuoden 1 lopussa		207296	205157	110358	105793	105165	104536
Vuosi 2, K1,							
Lisäinvestoinnit 10 %	0,1	36039	35441	22850	21922	22144	21751
Vuoden 1 laina + vuoden 2 investoinnit		243335	240598	133208	127714	127308	126287
Liittymismaksut 25 %		46410	46410	46410	46410	46410	46410
Laina korkoineen 5 %		206772	203897	91138	85370	84944	83871
Vuosituotot 50 %, netto	0,5	17723	13205	17723	13205	17723	13205
Laina vuoden 2 lopussa		189048	190693	73415	72165	67221	70666
Vuosi 3, K1,							
Lisäinvestoinnit 10 %	0,1	36039	35441	36039	35441	36039	35441
Vuoden 2 laina + vuoden 3 investoinnit		225087	226133	109454	107606	103260	106107
Liittymismaksut 25 %		46410	46410	46410	46410	46410	46410
Laina korkoineen 5 %		187612	188710	66197	64256	59693	62682
Vuosituotot 75 %, netto	0,75	26585	19807	26585	19807	26585	19807
Laina vuoden 3 lopussa		161027	168903	39612	44449	33108	42875
Vuosi 4, K1,							
Lisäinvestoinnit 10 %	0,1	36039	35441	36039	35441	36039	35441
Vuoden 3 laina + vuoden 4 investoinnit		197066	204344	75651	79890	69147	78316
Liittymismaksut 25 %		46410	46410	46410	46410	46410	46410
Laina korkoineen 5 %		158189	165831	30704	35154	23874	33502
Vuosituotot 100 %		35446	26409	35446	26409	35446	26409
Laina vuoden 4 lopussa/5 alussa		122743	139422	-4742	8745	-11572	7092
Takaisinmaksuaika vuoden 4 jälkeen		4	6	0	0	0	0
Takaisinmaksuaika 4 v vaiheinen rakentaminen		7,9	10,3	3,9	4,3	3,7	4,3
Nettonykyarvo vaiheinen rakentaminen							
	50	-90498	-127554	1824	-32922	6770	-31725
	49	124964	84514	138153	98033	138860	98204
	48	124153	83910	124153	83910	124153	83910
	47	123301	83275	123301	83275	123301	83275
Summa		281920	124144	387431	232296	393083	233664
	15	-160294	-179556	-67972	-84923	-63026	-83726
	14	51678	29913	64867	43432	65574	43603
	13	47203	26578	47203	26578	47203	26578
	12	42503	23077	42503	23077	42503	23077
Summa		-18910	-99988	86601	8164	92253	9532
Nettonykyarvo osuus %							
	50 a	60 %	40 %	64 %	52 %	64 %	52 %
	15 a	-10 %	-95 %	27 %	3 %	28 %	4 %
Nettonykyarvo väheni %							
	50 a	40 %	60 %	36 %	48 %	36 %	48 %
	15 a	110 %	195 %	73 %	97 %	72 %	96 %
Nettonykyarvo väheni €							
	50 a	190432	189210	216809	216248	218223	216590
	15 a	212077	205337	238455	232375	239868	232717